

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ciencias y Humanidades**

**F**

**PREPARACIÓN DE HARINAS DE FRUTAS PARA  
LA ELABORACIÓN DE REFRESCOS**

**ILINKA OLIVA MAZARIEGOS**

**Guatemala  
2000**



**PREPARACIÓN DE HARINAS DE FRUTAS PARA  
LA ELABORACIÓN DE REFRESCOS**

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y  
CIENCIA DE LOS ALIMENTOS

**PREPARACIÓN DE HARINAS DE FRUTAS PARA  
LA ELABORACIÓN DE REFRESCOS**

**ILINKA OLIVA MAZARIEGOS**

Trabajo de graduación presentado para optar al grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería y Ciencia de los Alimentos


GUATEMALA  
2000




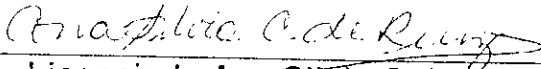
Vo. Bo.:

  
\_\_\_\_\_  
Dr. Ricardo Bressani  
Asesor

Tribunal:

  
\_\_\_\_\_  
Doctor Ricardo Bressani

  
\_\_\_\_\_  
Licenciada Patricia Palacios de Palomo

  
\_\_\_\_\_  
Licenciada Ana-Silvia Colmenares de Ruiz

FECHA DE APROBACIÓN: 27 de Noviembre de 2000.

## AGRADECIMIENTO

A mis padres, cuyo amor y apoyo me han servido para realizar todo lo que me he propuesto.

A mis amigos, por estar conmigo siempre cuando los he necesitado.

A Gamaliel, por su ayuda invaluable, sus conocimientos, su amistad y sus consejos.

A mi asesor, por sus conocimientos y su apoyo.

A mis maestros.

A mi familia.

## PREFACIO

En este trabajo se utilizó uno de los más antiguos métodos de conservación de alimentos, el secado, para preparar harinas de frutas (piña y fresa) para elaborar refrescos instantáneos.

Durante la primer parte de esta investigación se secó homogenizados de las frutas, sin aditivos, con glucosa y con metilcelulosa a diferentes temperaturas (70°, 80° y 90°C) para definir el comportamiento de las muestras (por medio de la elaboración de curvas de secado y de evaluaciones) y determinar cuáles eran las mejores condiciones de proceso para producir las harinas de frutas que produjeran el mejor refresco.

Se concluyó, por medio de pruebas tanto cualitativas como cuantitativas, que las condiciones óptimas en este experimento, para ambas frutas, eran agregando glucosa en una concentración de 0.5% (p/p) secando a 70°C.

Se obtuvo la formulación de los refrescos de ambas frutas y se realizó una evaluación sensorial del producto en forma de refresco, mediante una prueba de aceptación. Los resultados fueron favorables, puesto que el porcentaje de aceptación se encontró por arriba de 90% de los panelistas.

## CONTENIDO

## PÁGINAS

---

PREFACIO	IX
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	3
III. OBJETIVOS	4
A. Objetivos generales	4
B. Objetivos específicos	4
IV. HIPÓTESIS	6
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
A. Deshidratación	7
B. Transferencia de calor y masa	10
C. Etapas de secado de un sólido	15
D. Optimización de variables	17
E. Cambios que ocurren en el producto durante el secado	18
F. Métodos y equipo de secado	19
1. <i>Secadores por convección de aire</i>	20

a. Horno secador	22
b. Secador de gabinetes o bandejas	22
c. Secador de túnel o banda continua	23
d. Secador de banda de canal	24
e. Secador de levantamiento por aire	25
f. Secador de lecho fluidificado	25
g. Secadores por aspersion	27
2. <i>Secadores de tambor</i>	29
3. <i>Secadores al vacío</i>	30
a. Secadores de anaqueles al vacío	31
b. Secadores giratorios de vacío	31
c. Secador por congelamiento	32
d. Secado atmosférico de espumas	33
G. Información general acerca de la materia prima a utilizar	34
Piña	34
Fresa	36
Metilcelulosa	37
Glucosa	37
Ácido cítrico	38
Sacarosa	39

---

VI.	EXPERIMENTOS ANTERIORES	40
VII.	MATERIALES Y MÉTODOS	46
	A. Materia prima	46
	B. Reactivos	46
	C. Material y equipo	47
	D. Metodología	48
VIII.	RESULTADOS	55
IX.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	67
X.	CONCLUSIONES	82
XI.	RECOMENDACIONES	85
XII.	LITERATURA CITADA	87
	APÉNDICES	90
	A. Listado de figuras utilizadas	94
	B. Boleta utilizada para la Evaluación Sensorial	109
	C. Curvas de Secado realizadas para las dos frutas utilizadas (piña y fresa) a las diferentes temperaturas con y sin aditivos.	111
	D. Fórmulas utilizadas para el cálculo de $W_{ai}$ y $W_{si}$ .	93

## I. INTRODUCCIÓN

Guatemala es un país de muchas riquezas con una gran cantidad de recursos aún sin explotar; se encuentra en una región climatológica privilegiada en la cual se halla una gran variedad de ambientes y terrenos prestos para el desarrollo de la vida vegetal y animal.

Es por esta gama de climas y terrenos que en sus suelos se puede encontrar todo tipo de cultivos a lo largo de todo el año, lo cual es una gran ventaja para todo aquel país que tiene las actividades agrícolas como parte importante de su economía.

Las frutas que se cosechan en Guatemala van desde mango, piña y banano, que son de clima tropical, hasta manzanas, uvas y melocotones, que son de clima templado. El inconveniente que tienen éstas y todas las frutas es que son estacionales; se dan por épocas, depende sus necesidades de luz, agua y temperatura, por ende, frescas no se encuentran disponibles en el mercado todo el tiempo.

Debido a este inconveniente el ser humano desde hace mucho, ha creado métodos para la conservación de los alimentos con el fin de tenerlos a su disposición en cualquier temporada. Uno de los tantos procesos que el hombre ha utilizado a lo largo de los años es el secado o deshidratación, que cumple con el fin primordial de evitar el deterioro microbiológico del alimento, i.e. su preservación, y que alarga su vida útil. De esta forma, se

evita la pérdida de muchos productos que si se consumieran únicamente sin procesarlos, se desperdiciarían en gran cantidad.

En el presente trabajo se hizo uso de uno de los más antiguos métodos de conservación de alimentos, el método de secado, para desarrollar un nuevo producto (harinas de frutas para elaborar bebidas instantáneas) basándose en la deshidratación de frutas como piña y fresa, proporcionando así una opción para aprovechar algunos de los muchos recursos que tiene esta tierra.

## II. JUSTIFICACIÓN

Este trabajo justifica su existencia debido a las siguientes razones:

- **Preservación:** Es uno de los fines primordiales por los cuales se efectúa el secado o deshidratación, con el objetivo de crear una disponibilidad de alimentos durante todo el año que de otra forma estarían disponibles únicamente de forma estacional. La preservación da también como resultado una **disminución en las pérdidas post cosecha**.
- La deshidratación ayuda a **facilitar el transporte** de los alimentos debido a que al eliminar el agua por medio del secado, se disminuye el peso y el volumen de las frutas, por lo tanto se reducen costos de transporte.
- Por último, está la creación de **productos de conveniencia**.

### **III. OBJETIVOS**

#### **A. OBJETIVOS GENERALES**

1. Obtener harina de frutas para elaborar refrescos instantáneos.
2. Determinar el efecto del procesamiento en el producto final.

#### **B. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Utilizar un horno de convección para preparar harinas de piña y fresa a partir de un homogenizado de dichas frutas.
2. Elaborar, a partir de las harinas obtenidas, refrescos de piña y fresa.
3. Determinar el impacto del proceso sobre las características de los productos elaborados.
4. Ver el impacto que tiene la deshidratación sobre la rehidratación de los productos elaborados.

5. Determinar el efecto de agregar glucosa y metilcelulosa a los homogenizados de frutas utilizadas durante el secado.
6. Realizar las formulaciones de los nuevos productos.
7. Llevar a cabo la determinación del contenido de vitamina C en las harinas resultantes.
8. Determinar la aceptación de los productos finales por medio de evaluación sensorial.

#### **IV. HIPÓTESIS**

Por un método de deshidratación con aire caliente se puede producir una harina de fruta para elaborar refrescos.

## **V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **A. DESHIDRATACIÓN:**

Según Schwartz (1998), la deshidratación es la eliminación de la mayor parte del agua de un alimento líquido o sólido por vaporización o sublimación. Por sí sola conserva el alimento, ya que al disminuir la actividad de agua ( $A_w$ ) no hay proliferación de microorganismos y así se detienen las reacciones de alteración de los alimentos. La deshidratación trae consigo ventajas, entre ellas, proporciona comodidad de empleo o uso (17).

La preservación es la principal pero no la única razón para deshidratar alimentos. Los alimentos pueden deshidratarse para disminuir volumen y densidad (Figura 1 - Ver Apéndice). Ya que el jugo de naranja contiene aproximadamente 12% de sólidos, la remoción de toda el agua deja un octavo del peso; quiere decir que 237 mL (8 oz fl) de jugo de naranja producen aproximadamente 28 g (1 oz) de sólidos. Para reconstituirlo, se agregan 207 mL (7 oz fl) de agua antes de consumirlo. En el caso de los jugos, el volumen de los polvos es menor que el de los jugos originales, aunque raramente el peso de los polvos se reduce tanto como el volumen. Estas reducciones pueden resultar en menores costos de envío y de espacio en contenedores, pero este no siempre es el caso con los alimentos deshidratados (15).

Algunos procesos de secado son escogidos para retener el tamaño y forma del alimento original. El secado por congelamiento de grandes piezas de alimentos es uno de dichos procesos. El pedazo de carne secado por congelamiento situado a la izquierda en la Figura 2 (Ver Apéndice), esencialmente tiene el mismo volumen que el pedazo de

carne original. Se puede ahorrar costos de envío debido al peso pero no en el tamaño de los contenedores utilizados. Aún más, algunas veces el costo de los envíos no se basa en el peso sino en el volumen. En tal caso, los pedazos de carne secados por congelamiento no serían más baratos de empacar o enviar que la carne fresca (15).

Una tercera razón para deshidratar es la producción de artículos de conveniencia. Buenos ejemplos de estos son el café y el puré de papas instantáneos. En ambos casos, se completan los pasos de preparación y cocción del alimento antes de deshidratar los productos. El consumidor simplemente agrega agua y revuelve o mezcla. Sin importar las razones para la remoción de agua, los procesos de deshidratación de alimentos se basan en principios científicos sólidos (15).

Entre algunos de los principales alimentos deshidratados se puede hacer mención de la leche en polvo, frutas deshidratadas, café en polvo, leguminosas para sopas, hortalizas (ajo, cebolla, champiñones, pimentón) y huevos en polvo (17).

A continuación se definirán algunos términos que se utilizan para describir el contenido de humedad de las sustancias:

- Contenido de humedad en base húmeda. El contenido de humedad de un alimento generalmente se describe en función del porcentaje en peso de humedad; a menos que se indique otra cosa, se sobreentiende que está expresado en base húmeda, es decir, como  $(\text{kg humedad}/\text{kg sólido húmedo})100 = \text{kg humedad}/(\text{kg sólido seco} + \text{kg humedad})100 = 100X/(1 + X)$  (19).

- Contenido de humedad en base seca. Se expresa como  $\text{kg humedad} / \text{kg sólido seco} = X$ . Porcentaje de humedad, base seca =  $100X$  (19)
- Humedad en el equilibrio  $X^*$ . Es el contenido de humedad de una sustancia que está en el equilibrio con una presión parcial dada del vapor (19)
- Humedad ligada. Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio menor que la del líquido puro a la misma temperatura (19)
- Humedad no ligada. Se refiere a la humedad contenida en una sustancia que ejerce una presión de vapor en el equilibrio igual a la del líquido puro a la misma temperatura (19)
- Humedad libre. Es aquella contenida en una sustancia en exceso de la humedad en el equilibrio:  $X - X^*$ . Sólo puede evaporarse la humedad libre; el contenido de humedad libre de un sólido depende de la concentración del vapor en el gas (19)

Estas relaciones se muestran en forma gráfica en la Figura 3 (Ver Apéndice), para un sólido con un contenido de humedad  $X$  expuesto a un gas de humedad relativa  $A$  (19)

## **B. TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA:**

Independientemente del método de secado que se utilice, la deshidratación de alimentos involucra la adición de calor al alimento para eliminar la humedad. Estos dos procesos no siempre se encuentran favorecidos por las mismas condiciones de operación. Por ejemplo,

prensar alimentos entre dos planchas calientes daría contacto cercano y mejoraría la transferencia de calor hacia el alimento a través de las superficies superior e inferior, pero interferiría con el escape de la humedad libre. Sería mejor colocar una plancha caliente en la superficie inferior para dejar entrar el calor y dejar libre la superficie superior para que escape la humedad libre. En la deshidratación de alimentos, generalmente estamos interesados en una tasa máxima de secado y se efectúa cualquier clase de esfuerzo para aumentar las tasas de transferencia de calor y de masa. A este respecto, las siguientes consideraciones son importantes (15).

### **Área de superficie:**

Generalmente, los alimentos al ser deshidratados se subdividen en pequeñas piezas o en capas delgadas para aumentar la transferencia de calor y masa. La subdivisión aligera el secado por dos razones. Primero, una mayor área de superficie provee mayor superficie en contacto con la fuente de calor y mayor superficie a través de la cual puede escapar la humedad. Segundo, las partículas más pequeñas o las capas delgadas reducen la distancia que debe viajar el calor hacia el centro del alimento y disminuye también la distancia que la humedad debe viajar para alcanzar la superficie y escapar. Casi todos los tipos de secadores de alimentos aseguran tener una amplia área superficial del alimento a secar (15).

### **Temperatura:**

A mayor diferencia de temperatura entre el medio de calentamiento y el alimento, mayor será la tasa de transferencia de calor hacia el alimento; esto provee la fuerza motriz para la remoción de agua. Cuando el medio

de calentamiento es el aire, la temperatura juega un segundo plano, siempre importante. Mientras el agua en el alimento se convierte en vapor, debe ser arrastrado y llevado fuera o creará una atmósfera saturada en la superficie del alimento lo cual disminuirá la tasa de remoción subsiguiente de agua. Mientras más caliente es el aire, abrigará mayor humedad antes de saturarse. Obviamente, un mayor volumen de aire también aguantará más humedad que un menor volumen (15).

Temperatura del aire máxima (sin dañar): puede ser alta cuando el producto está húmedo. La evaporación rápida enfría la superficie. A mayor temperatura, mayor carga de vapor absorbe (17).

### **Velocidad del aire:**

No sólo el aire caliente remueve más humedad que el aire fresco, sino que al tener aire en movimiento (i.e. aire a alta velocidad), se llevará la humedad de la superficie del alimento, y prevendrá que se cree una atmósfera saturada (15).

Afecta en el período de velocidad constante; se muestra poca incidencia en el período de velocidad decreciente (17).

Velocidad alta: Arrastra todo el vapor que se desea eliminar, por lo tanto se reduce el espesor de la película y es más rápido el paso del vapor y mayor el coeficiente de transmisión del calor del aire al producto (17).

La velocidad de deshidratación es proporcional a la velocidad del aire en la primera etapa de secado ("secado a velocidad constante") y ambos

factores (velocidad del aire y velocidad de secado) son independientes en la etapa final (17).

En equipos convencionales fluctúa entre 1.5 y 6 m/s (17).

### **Humedad:**

Cuando el aire es el medio de secado, mientras más seco se encuentre, más rápida será la tasa de secado. El aire húmedo se encuentra más cerca de la saturación, por lo tanto, tiene menor capacidad de absorber y mantener una mayor cantidad de humedad que si se encontrara seco (15).

Lo seco del aire también determina el nivel de humedad más bajo al que se puede secar un producto. Los alimentos deshidratados son higroscópicos. Cada alimento tiene su propia humedad relativa en equilibrio. Esta es la humedad a una temperatura dada a la cual el alimento no perderá ni absorberá humedad atmosférica. Por debajo del nivel de humedad atmosférica, el alimento puede secarse más; arriba de esta humedad, en cambio, absorberá humedad de la atmósfera. La humedad relativa en equilibrio a diferentes temperaturas puede determinarse exponiendo al producto seco a diferentes atmósferas de humedad en frascos de campana y pesar el producto después de varias horas de exposición. La humedad a la cual el producto no pierde o gana humedad es la humedad relativa en equilibrio (15).

Mientras menor sea la humedad relativa más rápida es la evaporación y progresión del secado (17).

Si el aire está saturado de humedad, no hay deshidratación; a medida que la humedad relativa disminuye, éste aumenta su capacidad de retención de agua. Además, cuanto más caliente esté el aire, más humedad podrá absorber antes de saturarse (17).

Así, el aire de temperatura más elevada que se encuentra próximo al alimento, recogerá la humedad expulsada de éste en mayor grado que el aire de menor temperatura. También aumenta la presión de vapor del agua (17).

### **Tamaño del producto:**

Al disminuir el tamaño del alimento a secar, aumenta la superficie, i.e. incrementa el agua superficial; el camino que recorre el agua durante el período de velocidad decreciente es menor, por lo tanto decae menos la velocidad (17).

### **Cantidad de producto por superficie:**

A mayor cantidad de producto, mayor cantidad de agua a evaporar (17).

### **Naturaleza del producto, estructura del material, disposición del producto respecto de la dirección del aire:**

La naturaleza individual formada por su composición química y su estructura física es el factor más importante entre los puntos a considerar para medir la velocidad del secado. Los materiales con un contenido mayor de humedad requieren períodos de secado mayores a aquellos que tienen un contenido de humedad menor (16).

Velocidad = f(composición química).

A mayor contenido de azúcares el secado es más lento, pues es higroscópico (17).

La velocidad de secado también se ve afectada por las diferencias en la estructura del material, por ejemplo: materiales blanqueados se secan más rápido que los no blanqueados, una explicación probable es que el blanqueado modifica los tejidos y convierte las células de las membranas de tal forma que se hacen más permeables al agua (16).

El arreglo de los productos en las bandejas de secado debe ser tal que el área expuesta sea la máxima posible. Si el número de capas de producto superpuestas en las bandejas es menor, aumenta la superficie de evaporación. Es el mismo efecto que se observa al dividir el producto (17 y 16).

Durante los procesos de deshidratación es vital mantener un despliegue uniforme de la cantidad de material sobre las bandejas o elementos donde se coloca dicho material. Conforme el proceso de deshidratación procede, el material puede encogerse y propiciar una estructura abierta a través de la cual el aire pueda circular (16).

### **Recirculación del aire:**

Si una parte del aire que ha pasado por el producto se hace recircular por el deshidratador se logran dos ventajas:

- Ahorro de energía calórica ya que el aire utilizado tiene temperatura más alta que el aire fresco (17).

- Entrega humedad al ambiente para evitar el resecamiento del producto (17).

En general, se suele recircular 50-75% del aire (17).

En resumen se puede decir que durante la deshidratación se reduce el contenido de agua de la superficie del alimento a la vez que migra el agua desde el interior hacia la superficie. El proceso requiere energía, calor de vaporización, que se suministra al producto generalmente por aire caliente (17).

### **C. ETAPAS DEL SECADO DE UN SÓLIDO (húmedo)**

(Figuras 4.a. y 4.b. en Apéndice)

El secado usualmente ocurre en un número de etapas, y cada una de ellas está caracterizada por diferentes velocidades de deshidratación. La figura 4.a. muestra la isoterma de desorción y la velocidad de secado de rodajas de manzana en un secador de gabinetes con aire que fluye a 0.3 m/s a través de las bandejas que contienen las rodajas, a una temperatura de 150° F (65.6 °C) y una humedad relativa de 20%. La curva de velocidad de secado muestra una velocidad constante de deshidratación (línea AB) desde un contenido de humedad inicial de 8.7 g H<sub>2</sub>O/g de materia seca hasta una humedad de 6.00 kg H<sub>2</sub>O/kg de materia seca. En esta etapa del ciclo de secado ocurre una vaporización en la superficie del producto y agua libre, con  $A_w = 1$  se encuentra siempre disponible en la superficie para ser evaporada. Esta etapa del secado es la **etapa de velocidad constante**. La velocidad de secado se encuentra limitada por la velocidad a la cual se transfiere el calor del aire al material. La temperatura del producto es usualmente la temperatura de bulbo húmedo del aire que se utiliza para secar (18).

Con un contenido de humedad de 6.00 g H<sub>2</sub>O/g de materia seca, la velocidad de secado disminuye linealmente con el contenido de humedad. El punto B es la humedad crítica, y la línea BC representa el **primer período de disminución de velocidad de secado**. El periodo de disminución se caracteriza por un ligero aumento en la temperatura del producto, aunque esta temperatura no sea mucho mayor que la temperatura de bulbo húmedo. La humedad libre ya no se encuentra disponible en la superficie, y la velocidad de deshidratación se encuentra controlada por la difusión de la humedad hacia la superficie. La mayoría del agua presente en el material es aún agua libre con una  $A_w$  de 1. De cualquier forma, la difusión hacia la superficie ocurre por vaporización. (18).

A un contenido de humedad de 1.20 g H<sub>2</sub>O/g de materia seca, la pendiente de la velocidad de secado contra el contenido de humedad cambia, y la velocidad de secado pasa por un **segundo período de disminución de velocidad de secado**. Este segundo período empieza en el punto C, donde la humedad relativa en equilibrio para el material comienza a caer por debajo del 100%. En el punto C el contenido de humedad es la capacidad de agua ligada del material. Durante este segundo período de disminución, la deshidratación procede a través de la porción de la isoterma de adsorción donde el agua en el material se mantiene atrapada por una adsorción multimolecular y una condensación capilar. El calor de vaporización del agua en esta etapa del proceso de deshidratación es mucho mayor que el calor de vaporización del agua pura, ya que deben proveerse los calores de adsorción y vaporización. La vaporización en esta etapa ocurre en el interior más que en la superficie, y el vapor de agua debe difundirse a la superficie antes de mezclarse con la corriente de flujo de aire (18).

Cuando el material tiene un contenido de humedad de 0.30 g H<sub>2</sub>O/g aire seco, la tasa de secado pasa por otra zona de disminución de velocidad. Esta etapa de deshidratación corresponde a la región de la isoterma de adsorción donde el agua se encuentra atrapada en mono o multimoleculares. El secado debe terminarse en cualquier punto a lo largo de la línea DE. El punto E representa el contenido de humedad en equilibrio donde cesa la deshidratación debido a que los valores de  $A_w$  del aire y la superficie son iguales (18).

#### **D. OPTIMIZACIÓN DE VARIABLES**

En el diseño del equipo de deshidratación de alimentos, se hace esfuerzo para producir la máxima tasa de secado con el daño mínimo al producto al costo de secado más económico. Esto requiere de un balance de los diversos factores discutidos hasta ahora; verdaderamente, la deshidratación de alimentos es un área donde los científicos e ingenieros de alimentos deben trabajar juntos para alcanzar resultados óptimos (15).

Existen relaciones matemáticas entre cada una de las variables controlables de secado y las transferencias de masa y de calor. Debido a las peculiaridades de los materiales alimenticios, las condiciones óptimas de secado rara vez son las mismas para dos diferentes productos (15).

Los materiales alimenticios son altamente variables en lo que se refiere a la composición inicial, en cantidades de agua libre y enlazada, en patrones de encogimiento y de migración de solutos, y lo más importante, en cómo las propiedades cambian a través del proceso de secado. Esto es particularmente cierto en el período de disminución de la

velocidad de secado en la curva de deshidratación, donde se ven más afectados la calidad y la economía (15).

## **E. CAMBIOS QUE OCURREN EN EL PRODUCTO DURANTE EL SECADO**

1. **Encogimiento:** Los tejidos celulares (animal o vegetal), en su estado vivo o fresco presentan turgencia, es decir, cuando una célula está distendida por su contenido líquido, lo que otorga una estructura rígida, se pierde o colapsa cuando se elimina el agua (17).
2. **Endurecimiento superficial:** Sucede cuando hay una temperatura muy alta en la superficie y la pieza se seca de manera desigual; la piel queda seca y dura antes de que la mayor parte de la humedad del interior escape hacia la superficie. El endurecimiento de la cubierta es frecuente en alimentos que contienen azúcares disueltos y otros solutos concentrados (17).
3. **Pardeamiento:** Está asociado a un sobrecalentamiento y es un serio defecto de calidad. Este fenómeno, especialmente en frutas de color claro, se puede evitar al exponerlas a los gases de azufre quemado ( $\text{SO}_2$ ) o sumergir el producto en soluciones de  $\text{HSO}_3^{-1}$  o  $\text{S}_2\text{O}_5^{-2}$  antes del secado (17).
4. **Rehidratación:** Por el encogimiento y la distorsión de las células y otros factores químicos y bioquímicos, se pierde la capacidad de rehidratación (17).
5. **Pérdida de aroma:** Junto con la eliminación del agua se pierden componentes del sabor y aroma (17).

## F. MÉTODOS Y EQUIPO DE SECADO

Existen varios métodos básicos de secado y un gran número de modificaciones a los métodos básicos. La selección del método depende del tipo de alimento que se pretende secar, el nivel de calidad que debe alcanzarse y el costo que pueda ser justificado (15).

Algunos de los métodos de secado más comunes incluyen el secado por tambores, por aspersión, en bandejas al vacío, en bandas al vacío, en bandas al ambiente, secado por congelamiento, en lecho fluidificado, en secador rotatorio, en secador de túnel y de armario, entre otros. Algunos de estos métodos son particularmente adecuados para alimentos líquidos y no para alimentos sólidos; otros son adecuados para alimentos sólidos o mezclas que contengan piezas de alimentos (15).

Una división muy útil de los tipos de secadores los separa en secadores por convección de aire, secadores de tambor o rotatorios y secadores al vacío. Al utilizar esta división, el Cuadro # 1 indica los tipos de secadores adecuados más comunes para alimentos sólidos y líquidos (15).

En los secadores por convección de aire, el aire caliente se coloca en íntimo contacto con el material alimenticio y provee una mejor fuente de calor para la evaporación. Si el alimento es líquido puede ser asperjado o vaciado en sartenes o bandas. Las piezas pueden apoyarse en diversas formas. Aunque el aire caliente en movimiento es común a este grupo de secadores, puede proveerse calor adicional mediante una bandeja caliente o soportes de banda. Los secadores de tambor o giratorios limitan su uso a purés, pastas y alimentos líquidos que pueden ser aplicados en capas delgadas. Los secadores al vacío pueden emplear cualquier grado de vacío para bajar el punto de ebullición del agua. Los

secadores por congelamiento son diferentes tipos de secadores al vacío generalmente operados a presiones internas extremadamente bajas para sublimar el vapor de agua directamente desde el hielo sin pasar por la fase líquida. Esta clasificación no es rígida ya que muchos secadores son combinaciones (15).

**Cuadro # 1:** Tipos comunes de secadores utilizados para alimentos sólidos o líquidos (15).

<b>TIPO DE SECADOR</b>	<b>TIPO DE ALIMENTO USUAL</b>
<b>Secadores de convección de aire</b>	
➤ horno	Piezas
➤ gabinete, bandeja o sartén	Piezas, purés, líquidos
➤ túnel	Piezas
➤ banda continua (transportador)	Purés, líquidos
➤ banda	Piezas
➤ levantado por aire	Pequeñas piezas, gránulos
➤ lecho fluidizado	Pequeñas piezas, gránulos
➤ aspersión	Líquidos, purés
<b>Secadores de tambor o giratorios</b>	
➤ atmosférico	Purés, líquidos
➤ al vacío	Purés, líquidos
<b>Secadores al vacío</b>	
➤ gabinete al vacío	Piezas, purés, líquidos
➤ banda al vacío	Purés, líquidos
➤ secadores por congelamiento	Piezas, líquidos

### ➤ SECADORES POR CONVECCIÓN DE AIRE

Todos los secadores por convección tienen algún tipo de espacio cerrado, un medio de aire circulante a través del espacio cerrado, y un medio para calentar dicho aire. También tienen varios medios de apoyo del producto y dispositivos especiales para coleccionar el producto seco; algunos tienen

secadores de aire para disminuir la humedad del aire de secado. El movimiento del aire generalmente se encuentra controlado por ventiladores, sopladores y baffles (Ver Apéndice – Figura 5). El volumen y velocidad del aire afectan la tasa de secado, pero su presión estática también es importante ya que los productos que se secan se vuelven muy ligeros y pueden volarse de las bandejas o bandas. Los patrones de flujo de aire son complejos cuando encuentran superficies, y sus velocidades y presiones en contacto con los alimentos son rara vez comparables con las mediciones hechas sobre la principal corriente de aire, pero tales mediciones usualmente se encuentran correlacionadas con el comportamiento del secado. Aún si dos secadores tienen una velocidad de aire de 5 m/s (1000 ft/min), la superficie del alimento en los dos secadores probablemente encuentre diferentes velocidades cuando los secadores tienen diferentes geometrías (15).

El aire puede ser calentado por métodos directos o indirectos. En el calentamiento directo el aire está en contacto directo con una llama o con gases de combustión. En el calentamiento indirecto el aire se encuentra en contacto con una superficie caliente, tales como tuberías calentadas por vapor, llamas o electricidad. Por el otro lado, en el calentamiento directo el combustible casi nunca se oxida completamente a dióxido de carbono y agua. La combustión incompleta deja gases y trazas de hollín, que son recogidos por el aire y pueden ser transferidos al producto alimenticio. El calentamiento directo del aire también contribuye con pequeñas cantidades de humedad al aire ya que la humedad es un producto de la combustión, aunque éste es realmente insignificante excepto cuando se refiere a alimentos altamente higroscópicos. Estas pequeñas desventajas se encuentran balanceadas por el bajo costo del calentamiento directo comparado con el del calentamiento indirecto del

aire; ambos métodos se utilizan ampliamente en la deshidratación de alimentos (15).

### **1. Horno secador:**

Es uno de los más simples secadores de convección por aire. Los hornos secadores antiguos eran de dos pisos. El quemador se encontraba en la parte inferior y generaba calor y el aire caliente pasaba a través de un suelo con hendiduras hacia el piso superior. Alimentos como manzanas en rodajas se colocaban esparcidos sobre el piso con hendiduras y se les daba vueltas periódicamente. Este tipo de secador no reduce la humedad por debajo del 10%. Aún se utiliza para rodajas de manzana (15).

### **2. Secador de gabinetes o bandejas:**

En este secador, los alimentos pueden colocarse en bandejas en capas delgadas de aproximadamente unos centímetros. Una construcción típica de este tipo de secador se muestra en la Figura 6 (Ver Apéndice). El aire fresco entra en el gabinete (B), es arrastrada por el ventilador a través de las resistencias (C) y luego es llevada a través del alimento para luego pasar por el escape (H). En este caso el aire se calienta por métodos indirectos. Hay filtros instalados para evitar que pase el polvo que pudiera haber en el aire. El aire pasa a través y entre las bandejas. En la figura 6, el aire se hace escapar a la atmósfera después de pasar una vez en lugar de ser recirculado dentro del sistema. La recirculación se utiliza para conservar la energía en forma de calor al reutilizar parte del aire caliente. En los diseños con recirculación, el aire húmedo después de evaporar agua de los alimentos, deberá secarse antes de ser recirculada para evitar saturación y para evitar que el proceso de secado se haga más lento (15).

Estos secadores se utilizan normalmente para operaciones a pequeña escala. En comparación no son caros y son fáciles de colocar en términos de condiciones de secado. Se usan comúnmente para secar piezas de frutas y vegetales y si se depende del alimento y de la humedad final deseada, el tiempo de secado se encuentra alrededor de las 10 a 20 horas (15).

### **3. Secador de túnel o banda continua:**

Consisten en túneles relativamente largos a través de los cuales se mueven camiones cargados con platos llenos del producto que se va a secar, en contacto con una corriente de aire para evaporar la humedad. Los camiones pueden empujarse continuamente a través del secador mediante una cadena móvil a la cual se encuentran unidos. En un arreglo simple, los camiones cargados se introducen periódicamente por uno de los lados del secador, mientras cada camión se desplaza al anterior hacia el otro lado. El tiempo de residencia en el secador debe ser lo suficientemente grande como para reducir al valor deseado el contenido de humedad del alimento. Para operaciones a temperaturas relativamente bajas, generalmente se calienta el gas mediante aire calentado con vapor. Puede utilizarse el flujo en paralelo o a contracorriente del gas y del sólido; en algunos casos, ventiladores dispuestos a lo largo de los lados del túnel soplan el gas a través de los camiones en flujo tangencial. La operación puede ser básicamente adiabática o el gas puede calentarse con espirales de calentamiento a lo largo de su trayectoria a través del secador; en este caso la operación puede ser básicamente a temperatura constante. Parte del gas puede reciclarse, como en el caso de los secadores por lotes, para economizar

calor. Es posible utilizar los secadores de tipo túnel para cualquier producto que pueda secarse sobre platos (19).

Se utilizan para operaciones a mayor escala (Figura 7 – Ver Apéndice). Las bandejas se mueven de izquierda a derecha y el aire pasa sobre las bandejas de derecha a izquierda. Este es un flujo encontrado o a contracorriente, en el cual sucede que el aire más caliente y más seco hace contacto con el producto casi seco, mientras que el secado inicial de las bandejas recibe aire más frío y húmedo que se ha enfriado y ha recogido humedad a través del túnel. Esto significa que los gradientes de temperatura y humedad del producto inicial no serán muy grandes y así el producto está menos propenso a encogerse o endurecerse, al dejar centros húmedos. Por lo tanto, puede alcanzarse una humedad final menor ya que el producto más seco se encuentra con el aire más seco (15).

#### **4. Secador de banda de canal:**

Este secador es un tipo especial de secador de banda por convección en el cual, la banda forma un canal. La banda usualmente está hecha de un mesh de metal y el aire caliente se sopla a través del mesh. La banda se mueve continuamente, mantiene las piezas de los alimentos en el canal en movimiento constante para exponer continuamente superficie nueva. Esto acelera el secado, con aire de cerca de 135°C, se pueden secar piezas de vegetales a 7-5% de humedad en aproximadamente 1 hora (15).

## **5. Secador de levantamiento por aire:**

Estos secadores neumáticos usualmente se utilizan para terminar de secar materiales que se han secado parcialmente por otros métodos, hasta cerca del 25% de humedad, o lo suficientemente bajo para que el material se vuelva granular en lugar que se formen bodeques o tipo colchón. (Ver figura 8). Puede ser usado para terminar de secar gránulos que salen de un secador de tambor. Tales gránulos de humedad de 25% pueden llevarse hasta un 6% de humedad de forma más eficiente. Esto se debe a que la humedad más difícil de remover en el período de tasa decreciente de deshidratación se logra evaporar más fácilmente de partículas suspendidas en contacto íntimo con el medio de calentamiento. Cuando ya se encuentran secas las partículas suspendidas, se separan del aire y se recolectan en un separador tipo ciclón (15).

## **6. Secador de lecho fluidificado:**

Este es otro tipo de secador neumático (Figura 9 - Apéndice), en el cual el aire caliente pasa a través de las partículas de alimentos con suficiente fuerza para suspender las partículas en un movimiento sutil como de ebullición. Las partículas semisecas entran a la izquierda y gradualmente migran hacia la derecha donde son descargadas ya secas. El aire caliente se introduce a través de una placa porosa que sostiene el lecho de gránulos. El aire húmedo se libera en la parte superior. El proceso es continuo y el tiempo que las partículas permanecen en el secador puede ser regulado por la profundidad del lecho y por otros medios (15).

Los secadores de lecho fluido básicos utilizan gas caliente forzado a través de aberturas en una placa de distribución (lecho) para secar y fluidificar el material a procesar. La acción del lecho se encuentra

relacionada con la cantidad de aire que pasa a través de la placa de distribución (lecho), que se muestra en la figura 13.a. y b. Un flujo mínimo del gas que cause que el material se fluidifique causará que la masa de sólidos que se encuentra arriba de la placa de distribución (lecho) se mueva como si fuera una superficie líquida en ebullición. La velocidad a la cual los sólidos alcanzan este estado se llama la velocidad mínima de fluidificación (14).

Las características principales de estos secadores de lecho fluidificado incluyen el flujo tangencial del sólido y el gas de secado, un tiempo de residencia controlable de los sólidos de segundos a horas y la posibilidad de cualquier temperatura del gas. Es necesario que los sólidos fluyan y que tengan un tamaño de 0.1 a 36 mm. Puesto que el flujo de masa del gas para los requerimientos térmicos es básicamente menor que la requerida para la fluidificación, el lecho se opera en forma más económica a la velocidad mínima para la fluidificación. Una posibilidad es la operación en multietapas a flujo tangencial (aire fresco para cada etapa), como lo es el arreglo a contracorriente en dos etapas de figura 13.a. (19).

Los sólidos gruesos, demasiado grandes para ser fluidificados fácilmente, pueden manejarse en un lecho de borboteo (*spouted bed*). En este caso, el fluido se introduce en el fondo cónico del recipiente para los sólidos y no en forma uniforme sobre la sección transversal. Fluye ascendentemente a través del centro del lecho en una columna y provoca una especie de surtidor de una fuente de sólidos en la parte superior. Los sólidos circulan en forma descendente alrededor de la columna de fluido. Este tipo de secador puede ser usado para deshidratar granos, arvejas y otras partículas (18 y 15).

## **7. Secadores por aspersión:** **(Ver Figura 16 en Apéndice)**

Es el secador por convección de aire más importante. Estos secadores pueden sacar mayores cantidades de productos alimenticios deshidratados que todos los secadores combinados. Los secadores por aspersión se encuentran limitados a alimentos que se puedan atomizar, como líquidos y pastas y purés de baja viscosidad. El resultado de la atomización en gotas diminutas es el secado en cuestión de segundos con temperaturas de aire entrante de cerca de 200°C. Ya que el enfriamiento evaporativo rara vez permite que las partículas se calienten por encima de los 80°C y los sistemas diseñados apropiadamente remueven rápidamente las partículas secas de las zonas calientes, este método de deshidratación puede producir alta calidad de productos sensibles al calor como leche, huevos y café (15).

El secador estándar de aspersión con una o dos boquillas de aspersión atomizada puede utilizarse para secar alimentaciones líquidas con concentraciones de sólidos variables. En un proceso de una sola etapa, un secador de aspersión transforma una alimentación líquida bombeable en un material seco en forma de partículas. El tamaño y forma de partícula del producto puede controlarse dentro de ciertos límites para ajustar la alimentación y la presión de atomización en la boquilla. El secado por aspersión típicamente da un producto de tamaño de partícula aproximadamente de 100  $\mu\text{m}$  o más finas. Si se requiere un producto con un tamaño de partícula más pequeño debe utilizarse un secador de aspersión con dos boquillas de atomización (14).

El secador de aspersión utiliza convección para transferir el calor de los gases calientes a la alimentación líquida atomizada. Varios tipos de medio

de calentamiento se utilizan, tales como aire calentado con vapor, aire del ambiente calentada por productos de la combustión o gases inertes. Las configuraciones del gas de secado y del flujo del material deben ser concurrentes, a contracorriente, reverso o flujo mixto. El flujo concurrente se utiliza para materiales sensibles al calor. El flujo a contracorriente es usado para materiales que no son sensibles al calor y cuyo producto pueda requerir características especiales proporcionadas por un calentamiento adicional. El flujo mixto se emplea cuando se secan materiales inorgánicos a temperaturas elevadas y también para materiales orgánicos difíciles de secar a bajas temperaturas con tiempos limitados de exposición para no disminuir la calidad del producto (14).

Los secadores de aspersion pueden ser sistemas aislados o pueden utilizarse junto con evaporadores, aglomeradores u otros secadores cuando se requiere de procesos adicionales (14).

Como en los secadores de túnel, la introducción de gotas y aire en la misma dirección resulta en un secado inicial rápido y secado inicial lento; las corrientes a contracorriente pueden ser favorables para materiales altamente higroscópicos. Si un producto líquido se introduce en la parte superior de la torre, desciende a través y fuera de la torre en una pasada; si el producto se introduce por el fondo, primero ascenderá y descenderá, su tiempo en el secador será más largo. Esto también será cierto si a las gotas se les da un movimiento de espiral dentro de la torre. Un tiempo mayor de residencia será deseable para llevar a las partículas a un contenido de humedad menor o para permitir a las partículas que aumenten de tamaño en el secador (tiempo mayor de residencia da mayor oportunidad a las partículas secas a juntarse con las partículas menos secas y formar grumos). Esta es una forma de llevar a cabo el proceso instantáneo conocido como aglomeración, el cual da como

resultado partículas mayores que se disuelven más fácilmente en agua que las partículas muy pequeñas que flotan en el agua y son difíciles de mojar (15).

Un tipo de secado por aspersión hace espuma de los alimentos líquidos, tales como leche y café, antes de asperjarlos en el secador. Esto da como resultado una tasa más rápida de secado del área de superficie expandida de la gota hecha espuma y un producto seco de más baja densidad. Este método se conoce como secado por asperjado de espuma (15).

#### ➤ **SECADORES DE TAMBOR:**

Los materiales fluidos y semifluidos, como soluciones, pastas y suspensiones pueden secarse en secadores indirectos; Un ejemplo de tales secadores es el secador de tambor de inmersión de la alimentación, que aparece en la figura 12.a y b. (Apéndice). Un tambor metálico giratorio, calentado internamente con vapor, se sumerge en un tanque que contiene el producto por secar; una película delgada de la sustancia se retiene sobre la superficie del tambor. El espesor de la película se regula mediante un cuchillo repartidor, como se muestra; al ir girando el tambor, la humedad se evapora en el aire que lo rodea mediante el calor transferido a través del metal del tambor. El material seco se desprende continuamente de la superficie del tambor mediante un cuchillo. Para un secador de este tipo, el factor controlante es la transferencia de calor y no la difusión. El líquido o solución se calienta inicialmente hasta su punto de ebullición; entonces se desprende la humedad por ebullición a temperatura constante, o a temperaturas más elevadas, si el cambio de concentración es gradual; finalmente, el producto seco se calienta hasta que posea una temperatura próxima a la temperatura de la superficie del

tambor. En el caso de lechadas o pastas de sólidos insolubles, la temperatura permanece básicamente constante en el punto de ebullición del disolvente mientras el producto esté completamente húmedo; aumenta únicamente durante las últimas etapas del secado. Con frecuencia los vapores se recogen en una campana con ventilación construida directamente sobre el secador (18).

### ➤ SECADORES AL VACÍO:

Los métodos de deshidratación al vacío son capaces de producir productos deshidratados de la más alta calidad, pero los costos del secado al vacío generalmente son más altos. En este método, la temperatura del alimento y la tasa de remoción de agua son controladas al regular el grado de vacío y la intensidad de la entrada de calor. La transferencia de calor hacia el alimento es en su mayoría por conducción y radiación. Los métodos de secado al vacío pueden ser controlados con un mayor grado de precisión que los métodos que dependen del calentamiento de aire por convección (15)

Todos los sistemas de secado al vacío tienen cuatro elementos esenciales: una cámara al vacío de construcción pesada para soportar las presiones exteriores del aire que pueden exceder la presión interna por hasta  $9800 \text{ kg/m}^2$  ( $2000 \text{ lb/ft}^2$ ); una fuente de calor; un dispositivo para producir y mantener el vacío; y componentes para coleccionar el vapor de agua mientras se evapora del alimento. (Ver figura 10 en Apéndice) (15).

La cámara de vacío generalmente contiene estantes u otro tipo de soportes para colocar los alimentos; estos estantes pueden estar calentados eléctricamente o al circular un fluido caliente a través de ellos (15).

## 1. Secadores de anaqueles al vacío:

Los *secadores de anaqueles al vacío* son secadores de platos cuyos gabinetes se ajustan con puertas que ajustan perfectamente, de forma que pueden operarse a presiones inferiores a la atmosférica. No se pasa ni se recircula aire a través de estos secadores. Los platos que contienen el producto por secar, descansan sobre anaqueles huecos a través de los cuales se pasa agua tibia o vapor, a fin de proporcionar el calor necesario para la evaporación de la humedad. El calor se conduce hasta el producto a través del metal de los anaqueles y platos. Después de cargar y sellar, el aire en el secador es evacuado mediante una bomba de vacío mecánica o un eyector de vapor, luego se continúa la destilación de la humedad. Los vapores generalmente pasan a través de un condensador en donde se licúan y se recolectan; sólo el gas no condensable se saca de la bomba (15).

## 2. Secadores giratorios de vacío:

Los *secadores giratorios de vacío* (Figura 11) están compuestos por cubiertas cilíndricas con chaqueta de vapor, rearregladas en forma horizontal, en las cuales puede ser secada una pasta al vacío. La pasta se agita mediante una serie de hojas giratorias de agitación unidas a un eje central horizontal que pasa a través de las puntas de la cubierta cilíndrica. La humedad evaporada pasa a través de una abertura en la parte superior hasta un condensador; el gas no condensable se elimina mediante una bomba al vacío. El sólido seco se descarga a través de una puerta en el fondo del secador (19).

Los secadores de esta categoría son caros de construir y de operar. En consecuencia, se utilizan sólo para materiales valiosos que deben secarse a bajas temperaturas o en ausencia de aire para evitar la descomposición (19).

**3. Secado por congelamiento (secado por sublimación).** (Figura 14).

Los alimentos que no pueden calentarse ni siquiera a temperaturas moderadas, pueden secarse por este método, pero se adapta especialmente para secar alimentos sólidos de alto valor, tales como fresas, camarones enteros, cubos de pollo, rodajas de hongos y algunas veces, trozos de alimentos tan grandes como tajadas de carne o chuletas. El producto que se va a secar generalmente se congela mediante exposición a aire muy frío y se coloca en una cámara de vacío, en donde la humedad se sublima y se bombea mediante eyectores de vapor o bombas mecánicas de vacío. Un método alternativo de congelamiento es la evaporación instantánea al vacío de parte de la humedad; no obstante los alimentos que no son rígidos en el estado no congelado pueden dañarse con este procedimiento. Algunos alimentos, la carne por ejemplo, la cual evidentemente contiene canales capilares, en que el vapor de agua se difunde desde la superficie de hielo y se deshace al llevarse a cabo el secado. En otros casos, la difusión debe suceder a través de las paredes celulares. En cualquier caso, uno de los problemas principales es proporcionar el calor necesario para la sublimación: cuando el plano de sublimación se corre, el calor debe llevarse a través de espesores mayores de materia seca de poca conductividad térmica, lo cual requiere aumentar las diferencias de temperatura, que pueden dañar el producto. En forma alternativa, el calor puede introducirse por la "cara posterior", o sea, a través de una superficie como un anaquel o plato

sobre el cual descansa el producto, opuesta a la superficie a través de la cual sale la humedad evaporada. Esto mejora sustancialmente la velocidad de secado. El calor de radiación se utiliza algunas veces (15 y 18).

El principio detrás del secado por congelamiento es que bajo ciertas condiciones de baja presión de vapor, el agua se puede evaporar del hielo sin necesidad de derretir el hielo (15).

### **Secado atmosférico de espumas:**

Los métodos de secado al vacío y el secado por congelamiento en particular, pueden producir alimentos de calidad excepcional. Con líquidos y purés puede obtenerse casi la misma calidad a presión atmosférica con equipo menos caro y más bajos costos de operación para secar líquidos previamente hechos espuma. Se forma espuma para exponer un área de superficie enorme para que la humedad escape rápidamente, y esto a su vez, permite un secado rápido a presión atmosférica y a temperaturas reducidas (15).

Uno de estos métodos se le conoce como **Secado de Colchón de espuma** (figura 15). En un tipo particular de secador de colchón de espuma, la espuma se deposita en una bandeja perforada en una capa delgada de aproximadamente 3 mm de grueso. Justo antes que el soporte agujereado entre al horno caliente se le proporciona una explosión moderada de aire por debajo. Esto forma pequeños cráteres en la espuma rígida, lo cual expande la superficie de la espuma y aumenta la tasa de secado. A temperaturas dentro del horno de cerca de 80°C, las capas de espuma de muchos alimentos pueden secarse a

aproximadamente 2-3% de humedad en aproximadamente 12 minutos (15).

## **G. INFORMACIÓN GENERAL ACERCA DE LA MATERIA PRIMA A UTILIZAR:**

A continuación se proporciona información general acerca de la materia prima a utilizar:

### **PIÑA:**

Científicamente la **piña** es conocida como Ananas comosus. Es originaria de Brasil y se cultiva desde antes de la llegada de los españoles a este continente. Actualmente su cultivo se desarrolla en muchas regiones tropicales del mundo, extendiéndose también a otras sub - tropicales. Los principales países productores son: Hawai, Malaya, Cuba y Puerto Rico. En América Central se tienen ya algunos cultivos a escala comercial y semi - comercial para la exportación y consumo interno regional (10).

La piña puede cultivarse desde el nivel del mar hasta elevaciones de 1525 m de altura; esto incluye áreas desde semi - áridas con 510 mm anuales de lluvia, hasta áreas con una precipitación promedio anual de 5540 mm. Por lo tanto, no es tarea fácil describir un medio ecológico típico para esta especie. A pesar de ello, se sabe que los mejores suelos para su cultivo comercial son los arcillosos friables, no muy ricos en nitrógeno y también los suelos arenosos que posean esta misma característica (10).

La temperatura es decisiva en el cultivo de la piña. No tolera las heladas, por lo tanto, la producción no se desarrolla sino en regiones libres de

heladas. Incluso en el trópico podrían sufrir daños si ocurren descensos violentos de la temperatura (10).

Las variedades principales de piña que se cultivan en el área centroamericana se catalogan entre los siguientes tipos:

**a. Cayena lisa:** en Centroamérica se cultiva especialmente en el litoral del pacífico, pero países como Guatemala y Honduras presentan regiones productoras en el Atlántico. Esta variedad es una de las que presentan mayor aceptación comercial en el mundo por su magnífica calidad. Los frutos pesan alrededor de 2 Kg., su forma es cilíndrica, el color externo es amarillo rojizo al madurar y el color de la pulpa varía de amarillo a amarillo intenso (10).

**b. Española roja:** los frutos son relativamente pequeños de forma ovalada y de alrededor de 1 Kg. de peso. Adquiere al madurar un color rojizo y la pulpa presenta un color amarillo pálido. Este tipo se cultiva en Centroamérica principalmente en las costas del Océano Pacífico y en Guatemala en ciertas regiones semi-áridas, tales como los departamentos de El Progreso y Zacapa. En vista de que este tipo es resistente al transporte, manejo y almacenaje, así como también por los precios que alcanza en los mercados externos, resulta una de las más recomendables para su exportación en estado fresco (10).

**c. Pílon de azúcar o Sugar Loaf:** esta variedad es muy apreciada y pertenece al tipo Queen, de pulpa blanca y es propia de la región centroamericana. Es menos resistente al transporte, manejo y almacenaje. Se recomienda como variedad para consumo fresco en el mercado local, en tanto no se logren establecer canales más ágiles de comercialización (10).

**d. Montúfar:** este tipo es de color verde, con pulpa amarilla, de forma cónica, con peso entre 1 y 1.5 Kg., es de alta calidad para su consumo fresco pero es poco resistente al transporte (10).

- **Contenido de humedad de la piña:** 85.4% (en 100 gramos de porción comestible) (11).

### **FRESA:**

En años recientes el cultivo de esta deliciosa fruta ha recibido mucha atención en América Central donde se puede producir muy bien desde los 2000 pies y a veces un poco más bajo, hasta los 7500 u 8000 pies. Un gran número de variedades se ofrecen por los viveristas de las zonas templadas. En general, la variedad MISSIONARY ha dado muy buenos resultados en Centro América. FLORIDA 90 que hace poco tomó el lugar de Missionary como variedad comercial en la parte sur de Florida, puede llegar a ser superior en los trópicos, pero se necesitan unos años más para determinar esto. KLONDIKE es otra magnífica fresa que por muchos años fue la base de la industria fresera en Irapuato, México. BLAKEMORE ha dado buen resultado en Guatemala. El Dr. Darrow ha hecho la observación que para obtener la mejor calidad, las siembras deben hacerse en Centro América en las zonas más elevadas, considerándose que para esta región unos 6000 pies puede ser ideal (5).

- **Contenido de humedad de la fresa:** 90.0% (en 100 gramos de porción comestible) (11).

**METILCELULOSA:**

Es un derivado de la celulosa que difiere de la carboximetilcelulosa (CMC) y otras gomas, ya que su viscosidad aumenta mientras aumenta la temperatura en lugar de disminuir; por lo tanto, es soluble en agua fría y se gelatiniza al calentar. Se utiliza como espesante, emulsificante, en alimentos bajos en gluten, etc. (3).

El uso de metilcelulosa en el secado como ayuda en la preparación de jugo de toronja o naranja secados por aspersion en una base de sólidos de 0.1-4.0%, se reportó que facilitaba la producción de polvos que fluían libremente (8).

La metilcelulosa también se utiliza en el secado por colchón de espuma. En este método de secado se forman espumas estables al incorporar aire u otros gases batiendo un concentrado líquido del producto alimenticio que contiene un estabilizante para la espuma. La espuma luego se seca en secadores con aire o en hornos con bandas para dar colchones porosos que fácilmente se reducen a polvos que fluyen libremente. El utilizar un buen estabilizante de espuma es lo que permite la formación de una espuma estable que puede ser manejada sin romperse y que se reconstituirá para dar un producto satisfactorio (8).

**GLUCOSA:**

La glucosa (D-glucosa, dextrosa, azúcar de maíz),  $C_6H_{12}O_6$ , peso molecular 180.16 es un azúcar cristalino blanco, cuyo poder edulcorante es 70% del de la sacarosa (13)

La glucosa libre abunda mucho en frutas y jugos de las plantas. Su cristalización por evaporación del mosto de la uva hizo que se le diera el nombre antiguo de azúcar de uvas. En estado de combinación, la glucosa forma parte de la sacarosa y otros azúcares compuestos, del almidón, glucógeno, celulosa y muchos glucósidos. El "azúcar invertido" obtenido por hidrólisis ácida de la sacarosa, consiste en D-glucosa y D-fructosa (levulosa) (13).

Se utiliza en la fabricación de dulces, en la industria panadera, en el enlatado de frutas y hortalizas, en la fabricación de bebidas y otros productos que requieren edulcorantes y para la preparación del color caramelo (13).

### **ÁCIDO CÍTRICO:**

Ha sido usado en alimentos en los Estados Unidos de Norteamérica por más de 100 años. Sus mayores ventajas como acidulante son su alta solubilidad en agua (8).

Se usa (permitido por la FDA) en jugos de frutas, concentrados y diluidos, en bebidas carbonatadas no alcohólicas, vegetales enlatados, entre otros (8).

Es usado también como saborizante y para bajar el pH de alimentos. Se utiliza ampliamente en la preparación de bebidas carbonatadas para realzar el sabor e impartir un sabor ácido. Además, actúa como preservante durante y después del proceso (8).

En vinos se agrega para ajustar la acidez y prevenir el enturbiamiento causado por precipitados, también para inhibir la oxidación (8).

Se usa en varios tipos de dulces que incluyen fondants, para realzar el sabor a fruta de berries y otros ingredientes, para prevenir cristalización del azúcar, para invertir la sacarosa y para prevenir oxidación de ingredientes (8).

Actúa como sinergista para los antioxidantes usados para inhibir rancidez en alimentos que contienen grasas y aceites y para prevenir pérdida de color y sabor de frutas enlatadas y pescados (8).

#### **SACAROSA:**

También conocida como azúcar de mesa, azúcar de caña o simplemente como azúcar es un disacárido no reductor formado por una molécula de fructosa y otra de glucosa unidas, se obtiene de la caña de azúcar y de la remolacha; aunque en Guatemala sólo se obtiene de la primera. Su dulzor se toma como referencia para determinar el poder edulcorante de otros compuestos (16).

## VI. EXPERIMENTOS ANTERIORES

Los experimentos que se han realizado anteriormente y que tienen una relación estrecha con el experimento a llevarse a cabo incluyen la deshidratación de jugos de fruta, jugos de fruta concentrados, de pastas, cueros (leather) y trozos de fruta. Todos ellos por métodos diferentes de secado como el de secado por congelamiento, por aspersion, al vacío y con secador de tambor, entre otros.

Berry, et al en 1967, utilizaron el método de secado por colchón de espuma (Foam-Mat drying), para producir cristales de jugo concentrado de uva. Se condujo el experimento hasta un punto donde el proceso pudiera ser utilizado comercialmente. El producto final contenía menos de 0.5% de metil celulosa. Los métodos para la formación de espuma se desarrollaron para que fueran aptos para grandes cantidades. El producto experimentó una temperatura máxima de cerca de 170 °F durante 2 minutos, y durante el resto del tiempo de secado (aproximadamente 10 min.) la temperatura fue de 150 - 160 °F. Después de dejar enfriar el producto y retirarlo del secador, su contenido final de humedad fue de 1 a 1.25 %, lo suficientemente bajo como para que no se requiriera un desecante dentro del empaque (2).

El producto fue molido para convertirlo en polvo y fue procesado para aumentar su densidad. Se aplicó presión para que la densidad final fuera de  $0.6 \text{ g/cm}^3$ . Esto se logró entre rollos de presión sin adición de calor para no impedir la solubilidad. Después de volver a moler, las partículas finas fueron removidas mediante el tamizado para mejorar la subsiguiente reconstitución. El producto final se empacó en latas o en bolsas flexibles (2).

En 1970, Foda, Hamed y Abd-Allah, decidieron preservar los jugos de naranja y guayaba por el método de deshidratación por congelamiento. Primero se extrajo el jugo de las frutas cortadas en trozos que utilizan un pulpero y se descartaron las semillas, la cáscara y la fibra. Se usaron jugos pasteurizados y no pasteurizados para la guayaba y jugos de diferentes concentraciones para el jugo de naranja. Se encontró que la tasa de sublimación de los cristales de hielo del jugo de naranja fue más lenta para los jugos concentrados que para los no concentrados (7).

Sin embargo, los polvos secos retuvieron la mayoría de sus componentes importantes después del secado por congelamiento. En lo referente a los contenidos de ácido ascórbico, carotenos, acidez, azúcares, pectina y pectina metilesterasa, no hubo cambios significativos durante el almacenamiento de los jugos en la investigación. También se pudo notar

que el número de microorganismos de las muestras disminuyeron gradualmente mientras progresaba el almacenamiento (7).

El jugo de naranja concentrado requirió de un mayor tiempo para ser deshidratado al congelarlo que el jugo no concentrado. Para la harina de naranja preparada de jugo normal de naranja y del de una concentración de 20%, no hubo cambios en la evaluación sensorial de los productos después del almacenamiento. En el caso de las muestras preparadas a partir del jugo concentrado al 36% se obtuvo una menor calidad después del mismo período de almacenamiento (7).

Para los jugos de guayaba se encontró que la harina de guayaba preparada a partir de jugo pasteurizado retuvo mejor sus características sensoriales después del almacenamiento que el jugo no pasteurizado (7).

Henig y Mannheim (1971) prepararon harina de tomate, a partir de un concentrado de tomate de 28° Brix por medio de un secador de laboratorio de doble tambor, modificado, ya que normalmente los secadores de tambor no son adecuados para secar alimentos con un alto contenido de azúcar, pues el producto se pega a los tambores y el producto resultante es altamente higroscópico. La modificación efectuada consistió principalmente

en dejar que fuera posible enfriar la película seca con una corriente de aire frío y deshumidificado, en la zona de las cuchillas. Las películas secas fueron almacenadas en desecadores (9).

Se encontró que la tasa de secado era directamente proporcional al grosor promedio de la película, la cual a su vez, dependía del intervalo de trabajo y de las características del concentrado (9).

La reconstitución de las harinas preparadas a condiciones drásticas (alta temperatura y largo tiempo de retención) fue menor que la de las harinas preparadas bajo condiciones óptimas, aparentemente debido al daño en la estructura física del producto (9).

Se redujo la consistencia y la viscosidad aparente durante el proceso de secado. El daño en la consistencia fue considerablemente mayor a tiempos mayores de retención (9).

Más recientemente, en 1985, Cal-Vidal y Falcone, estudiaron las condiciones de procesamiento que afectan el comportamiento higroscópico del jugo de granadilla (passion fruit), secado por congelamiento. Se condujo el estudio ya que los jugos y extractos de frutas secados por este método, son

materiales altamente higroscópicos, lo cual los convierte en muy susceptibles al problema de apelmazamiento, el cual se da en algunos polvos alimenticios. El apelmazamiento de los polvos durante el almacenamiento usualmente es el resultado de la disolución de las partículas de polvo de la superficie, que permite que se formen puentes de una solución líquida concentrada en los puntos de contacto entre partículas. El fenómeno subsiguiente que resulta en una solidificación de dichos puentes, da una estructura gruesa, de aumentadas dimensiones, que reduce significativamente la condición de libertad de flujo del polvo (4).

Se investigó el efecto de la tasa de congelado, la temperatura de secado por congelamiento, la adición de sacarosa y agentes antiapelmazantes, sobre la cinética de adsorción y sobre el equilibrio higroscópico del jugo de granadilla secado por congelamiento. Unas muestras congeladas de forma lenta (- 45°C) fueron preparadas en un congelador Harris y muestras congeladas de forma rápida se prepararon en nitrógeno líquido (- 195.8 °C) y se usó una técnica de goteo (4).

Se utilizó un secador por congelamiento de marca 12F Pilot Stokes para secar las muestras y los estudios de higroscopicidad fueron conducidos en una cámara de humedad relativa y temperatura controladas

automáticamente. Los resultados mostraron la influencia significativa de la velocidad de congelamiento y de agregar sacarosa para reducir la higroscopicidad del producto (4).

Abdelhaq y Labuza (1987), estudiaron la optimización del secado de albaricoques utilizando cuatro tratamientos: 1. Escaldado y secado, 2. Sulfitado - escaldado y secado, 3. Escaldado - sulfitado y secado; y 4. Sulfitado - secado a un escaldado de 50% de humedad y secado final. Los niveles de sulfitado fueron de 0 - 2000 ppm de  $\text{SO}_2$  y el secado fue hecho a temperaturas de  $50^\circ$  a  $80^\circ\text{C}$ . La calidad de los albaricoques deshidratados fue juzgada por qué tanto empardeamiento se desarrolló y mediante la determinación de dureza. Se aplicó un diseño estadístico de respuesta superficial para evaluar las condiciones óptimas de secado. Se encontró que el mejor tratamiento fue el sulfitado - secado, utilizando de 800 - 1000 ppm de  $\text{SO}_2$ , a cualquier temperatura en el rango de  $50^\circ$  a  $80^\circ\text{C}$ . Así, el sulfito fue el mayor factor para controlar la calidad del albaricoque seco y sería difícil reducirlo. El tiempo de secado se redujo en un 50% cuando los albaricoques se secaron a  $80^\circ\text{C}$ , que cuando se secaron a  $50^\circ\text{C}$ ; el escaldado redujo el tiempo por un 10-20%. Para todos los tratamientos, la pérdida de  $\text{SO}_2$  fue mayor al 50% (4).

## **VII. MATERIALES Y METODOS**

### **A. MATERIA PRIMA**

- Piña
- Fresa

### **B. REACTIVOS:**

#### **1. Para la elaboración de las harinas:**

- D (+)-glucosa marca Merck - grado reactivo
- Metilcelulosa polvo marca Droguería PROFAQUIM
- Ácido cítrico marca Merck - grado alimenticio

#### **2. Para la elaboración de refrescos:**

- Agua
- Azúcar

**C. MATERIAL Y EQUIPO:**

- Cuchillo
- Tabla de picar
- Paleta de madera
- 2 Recipientes de plástico con capacidad de 5 galones con tapadera para guardar el homogenizado licuado de cada fruta antes de procesar.
- Balanza OHAUS. Capacidad 16 kg – 35 lbs. Incertidumbre:  $\pm 0.005$  lb
- Balanza OHAUS. Capacidad 5 lbs 2 oz. Incertidumbre:  $\pm 0.005$  gramos.
- Balanza analítica METLER. Incertidumbre:  $\pm 0.00005$  gramos.
- Espátula Analítica
- Espátula de teflón marca ILKO, resistente a altas temperaturas.
- Papel encerado
- Papel aluminio
- Papel encerado
- Masking Tape
- Bolsas de plástico grueso transparente
- Moldes para hornear galletas de 18x24
- Guantes de tela para manejar objetos calientes
- Varillas de vidrio.
- 3 Beakers de 600 mL marca PYREX. Incertidumbre:  $\pm 0.5\%$ .
- 6 Beakers de 50 mL marca PYREX. Incertidumbre:  $\pm 0.5\%$ .
- 10 Erlenmeyers de 250 mL marca KIMAX. Incertidumbre:  $\pm 0.5\%$ .
- 12 Erlenmeyers de 50 mL marca PYREX. Incertidumbre:  $\pm 0.5\%$ .
- Licuadora industrial de acero inoxidable marca CROYDON. Capacidad 25 Litros.
- Licuadora Marca OSTERIZER. Capacidad 1 Litro.

- Horno de convección marca CORBETT INDUSTRIES, INC. Con un controlador de temperatura marca HONEYWELL.

## **D. METODOLOGÍA**

### **1. Procesamiento del fruto**

Todas las frutas, sin excepción se lavaron y se eliminaron las frutas, o pedazos de las mismas, que no tenían una buena calidad y que no cumplían con las características deseadas.

Después del lavado se procedió a la desinfección de las mismas, dejándolas reposar durante 20-25 minutos en una solución acuosa con cloro 5 ppm.

Las fresas se machacaron y luego fueron licuadas (sin agregar agua), para obtener un homogenizado de las mismas, que luego se deshidrató.

Las piñas se pelaron y se cortaron en trozos, al eliminar únicamente las orillas. No se eliminaron los centros. Luego se licuó la piña para formar un homogenizado, sin agregarle agua.

Se tomó el peso de las frutas al tener el homogenizado formado, durante y al final del procesamiento.

Antes de proceder a la deshidratación de los homogenizados de piña y fresa, se les agregó dos agentes que ayudaron a mejorar el proceso de deshidratación, estos son: metilcelulosa y glucosa, en una concentración máxima de 0.5% (p/p).

A la piña además, se le agregó ácido cítrico en una concentración de 0.1% (p/p) como agente antioxidante, para evitar el pardeamiento durante el proceso.

Así, el homogenizado de las frutas utilizadas (piña y fresa) se dividió en tres partes:

1. Porción de homogenizado sin aditivos (Control)
2. Porción de homogenizado con glucosa (0.5% p/p)
3. Porción de homogenizado con metilcelulosa (0.5% p/p)

## **2. Deshidratación con horno de convección**

Una cantidad conocida del control de cada homogenizado de fruta, fue colocada en capas delgadas sobre láminas de teflón para hornear galletas de 18x24 y dichos moldes fueron pesados (con y sin muestra) y colocados en un deshidratador de bandejas con aire caliente con recirculación de aire a varias temperaturas, en un rango de 70-90°C, para obtener varias curvas de deshidratación. Se determinó el cambio de peso cada 10 minutos hasta que no hubiera mucha variación en la pérdida de agua y luego se hizo cada 20 minutos hasta que se obtuvo un peso constante, una consistencia crujiente y una humedad final de aproximadamente 5-7% para evitar el uso de desecante al empacar.

El procedimiento se hizo de esta forma a temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C hasta que se terminó con todo el homogenizado de fruta que se deseaba deshidratar, para ambas frutas, para así elaborar curvas de secado para cada temperatura.

Hecho esto, a una porción del homogenizado de piña y fresa, se le agregó glucosa en una concentración de 0.5% (p/p), que se agitó constantemente hasta que toda la glucosa se encontraba disuelta. Luego este homogenizado se vertió en los moldes, previamente engrasados ligeramente con aceite de oliva y pesados, y se colocaron en el horno a temperaturas de 70°C, 80°C y 90°C, se pesaron los moldes cada 10 minutos para elaborar las curvas de secado respectivas.

De igual forma, fue realizado el procedimiento al agregar la metilcelulosa, también en una concentración de 0.5% (p/p).

### **3. Molienda:**

Ya que se manejaron cantidades pequeñas de muestra, la molienda para obtener la harina se realizó en una licuadora, para evitar pérdidas excesivas de producto.

### **4. Tamizado:**

Para que se eliminaran las partículas de la harina que no tenían un tamaño adecuado las harinas fueron pasadas a través de un colador y las partículas más grandes fueron retiradas del producto final con el fin de mejorar la rehidratación.

### **5. Empaque:**

Se procedió a empacar la harina resultante de las frutas, después de que hubieran alcanzado el equilibrio térmico, en bolsas de plástico gruesas cerradas con masking tape y debidamente rotuladas. No se utilizó vacío.

## **6. Evaluación de la materia prima y el producto terminado:**

### **6.1. Materia prima:**

Se evaluó el color, olor y sabor de la materia prima antes de iniciar cualquier proceso.

### **6.2. Deshidratación:**

Se evaluó el color, olor y sabor del material deshidratado a las diversas temperaturas, con y sin aditivos.

### **6.3. Hidratación:**

Aproximadamente 10 g de la harina resultante del homogenizado de frutas deshidratado, se colocaron en un beaker con 150 mL de agua, se revolvió de forma constante durante 1 minuto, luego se dejó reposar y se observó el tiempo que tardaba en sedimentar. Las harinas rehidratadas se observaron para determinar cuál de todas las muestras mostraba mejores características de rehidratación. Las partículas que no se disolvieron fueron observadas visualmente, y dependiendo de que hubiera muchas o pocas partículas no disueltas, se calificó el producto como rehidratado completamente o no.

Para hacer este proceso más objetivo se procedió a determinar el índice de absorción de agua (Wai) y el índice de sólidos solubles (Wsi) de las muestras de ambas frutas con y sin aditivos a las diferentes temperaturas. Para ello, el procedimiento a seguir fue:

- Hacer pasar la muestra a través de un Mesh No. 60. Pesar 2.5 g.
- Colocar en tubo para centrifuga de 50 mL, previamente tarado.
- Agregar 30 mL de agua a 30°C y agitar durante 30 minutos.
- Centrifugar por 10 minutos a 3000 rpm.
- Colocar el supernadante en plato para evaporar, previamente tarado. Secar a una temperatura no mayor a 65°C. Llevar hasta peso constante.
- Pesar el gel que quedó en el tubo de centrifuga.
- Efectuar los cálculos respectivos (Ver Apéndice D) para obtener los valores de Wai y Wsi de las muestras (Ver resultados).

#### **6.4. Evaluación de resultados:**

Depende del resultado de la prueba de rehidratación, de los valores de Wai y Wsi, y de las curvas de secado, se determinó qué proceso era el mejor (la mejor temperatura y aditivo) para dar el producto final con las mejores características (color, olor, sabor, capacidad de rehidratación, etc.) y se realizó todo el proceso con estas condiciones. Como se observó que aún a 70°C la piña empezaba a mostrar empardeamiento, se agregó 0.1% (p/p) de ácido cítrico a la muestra antes de secarla para evitar que esto sucediera.

Se evaluó el color, olor, sabor y rehidratación de las harinas para tomar la decisión de qué proceso era el mejor para cada fruta.

#### **6.5. Elaboración del refresco:**

A 10 gramos de las harinas de cada fruta se les agregó 10 gramos de azúcar y 150 mL de agua fría. Se revolvió constantemente hasta que no quedaran partículas disueltas.

## **6.6. Evaluación del producto terminado:**

### **6.6.a. Determinación del contenido de Vitamina C:**

Se siguió el Método de Titulación con 2,6-Dicloroindofenol del AOAC.

### **6.6.b. Evaluación sensorial del producto terminado.**

Se realizó una prueba de Aceptación para los productos terminados (las harinas) en forma de refresco (rehidratadas y con azúcar), para determinar si los productos elaborados eran aceptados por el consumidor.

Para ello, se utilizó una muestra de 60 personas (20 personas aproximadamente cada día, durante 3 días de prueba) en un salón específicamente utilizado para la prueba, equipado con mesas y sillas suficientes para los participantes.

A cada persona se le asignó tres vasos pequeños, transparentes, que contenían lo siguiente:

- 50 mL aproximadamente de refresco de piña (código 222)
- 50 mL aproximadamente de refresco de fresa (código 454)
- 100 mL aproximadamente de agua pura

A cada persona se le proporcionó un lápiz y una boleta diseñada específicamente para esta prueba, para determinar la aceptación de los refrescos. (Ver muestra de la boleta utilizada en Apéndice B)

Después de terminada la prueba, se determinó el porcentaje de personas que se encontraban en las diferentes categorías para determinar si los productos fueron aceptados o no.

## VIII. RESULTADOS

**Tabla # 1:** Contenido de Humedad Final de las harinas de frutas a las diferentes temperaturas, con y sin aditivos.

HARINAS	% HUMEDAD FINAL PROMEDIO		
	70°C	80°C	90°C
Fresa sin aditivos	<b>7.82%</b>	<b>6%</b>	<b>7.37%</b>
Fresa + glucosa	6.92%	6.83%	6.27%
Fresa + metilcelulosa	7.48%	5.36%	8.24%
Piña sin aditivos	<b>10.02%</b>	<b>9.24%</b>	<b>11.09%</b>
Piña + glucosa	9.97%	10.29%	9.99%
Piña + metilcelulosa	9.31%	10.02%	10.11%

**Tabla # 2:** Tiempos de secado y comparación entre los tiempos de secado de las harinas de frutas a las diferentes temperaturas con aditivos y sin aditivos.

HARINAS	70°C		80°C		90°C	
	Tiempo de secado (min)	% Tiempo de secado	Tiempo de secado (min)	% Tiempo de secado	Tiempo de secado (min)	% Tiempo de secado
Fresa sin aditivos	270	<b>100%</b>	290	<b>100%</b>	440	<b>100%</b>
Fresa + glucosa	210	77.78%	290	100%	210	47.73%
Fresa + metilcelulosa	200	74.07%	170	58.62%	150	34.09%
Piña sin aditivos	350	<b>100%</b>	320	<b>100%</b>	630	<b>100%</b>
Piña + glucosa	350	100%	320	100%	150	23.8%
Piña + metilcelulosa	340	97.14%	230	71.875%	150	23.8%

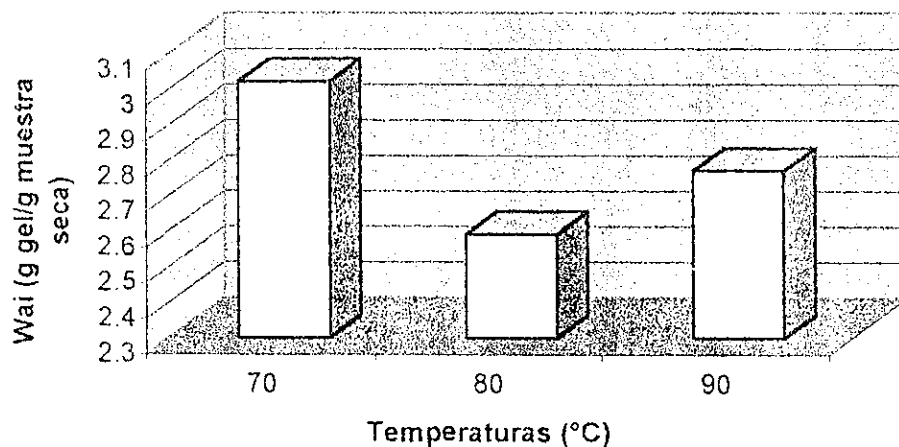
**Tabla # 3:** Capacidad de rehidratación observada de las muestras a las diferentes temperaturas, con y sin aditivos.

HARINAS	REHIDRATACIÓN		
	70°C	80°C	90°C
Fresa sin aditivos	Buena	Regular	Mala
Fresa + glucosa	Muy buena	Buena	Regular
Fresa + metilcelulosa	Buena	Regular	Mala
Piña sin aditivos	Muy buena	Buena	Mala
Piña + glucosa	Muy buena	Buena	Regular
Piña + metilcelulosa	Buena	Buena	Regular

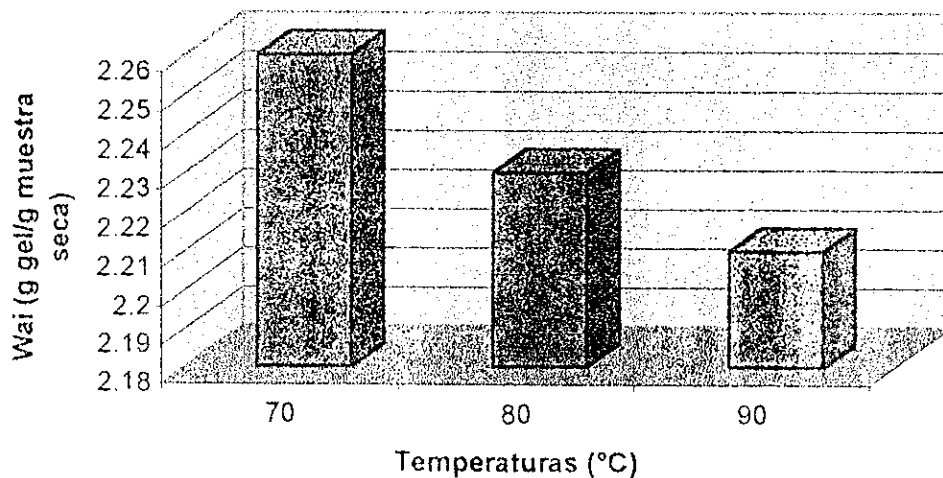
Tabla # 4: Índice de absorción de agua (Wai) para la piña (con y sin aditivos) a diferentes temperaturas

Harinas	Temperatura (°C)		
	70	80	90
	Wai (g gel/g muestra seca)		
Piña sin aditivos	3.02	2.59	2.77
Piña + glucosa	2.26	2.23	2.21
Piña + metilcelulosa	3.59	2.52	3.07

Gráfica # 1: Índice de absorción de agua (Wai) para la piña sin aditivos a diferentes temperaturas



Gráfica # 2: Índice de absorción de agua (Wai) de piña + glucosa a diferentes temperaturas



Gráfica # 3: Índice de absorción de agua (Wai) para piña + metilcelulosa a diferentes temperaturas

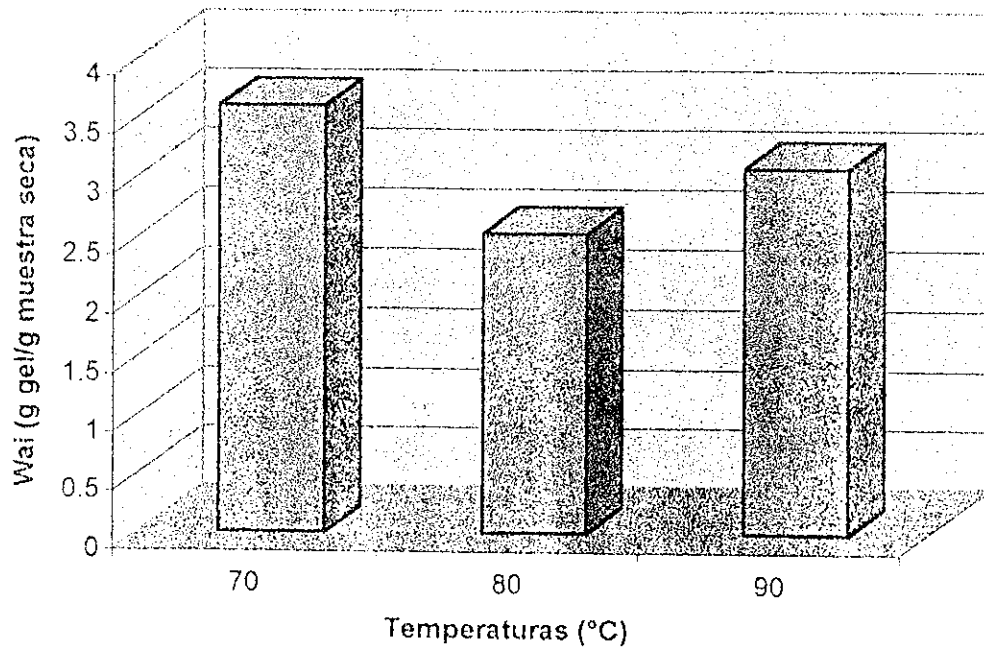
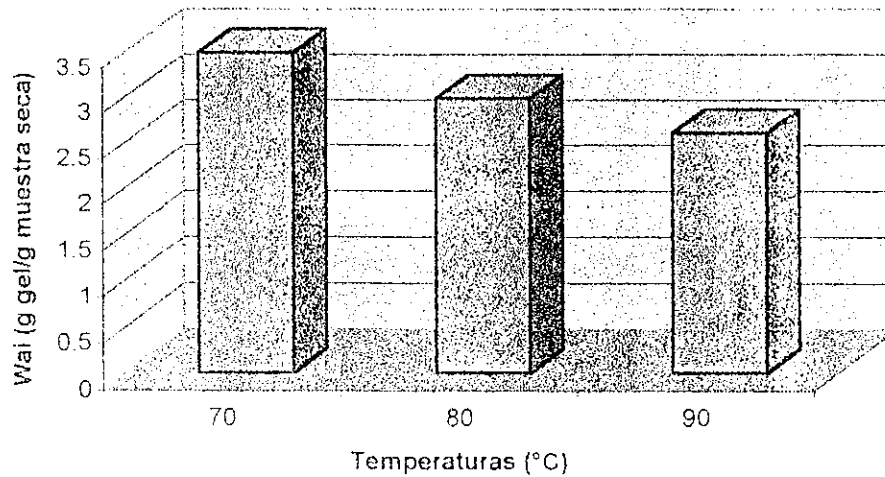


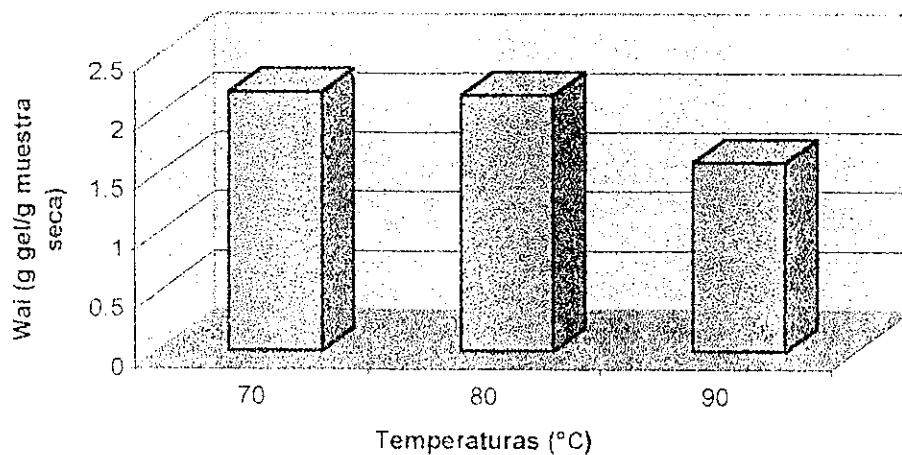
Tabla # 5: Índice de absorción de agua (Wai) para la fresa (con y sin aditivos) a diferentes temperaturas

Harinas	Temperatura (°C)		
	70	80	90
Fresa sin aditivos	3.48	2.97	2.59
Fresa + glucosa	2.19	2.16	1.59
Fresa + metilcelulosa	2.69	2.76	3.47

Gráfica # 4: Índice de absorción de agua (Wai) para fresa sin aditivos a diferentes temperaturas



Gráfica # 5: Índice de absorción de agua (Wai) para la fresa con glucosa a diferentes temperaturas



**Gráfica # 6:** Índice de absorción de agua (Wai) para la fresa + metilcelulosa a diferentes temperaturas

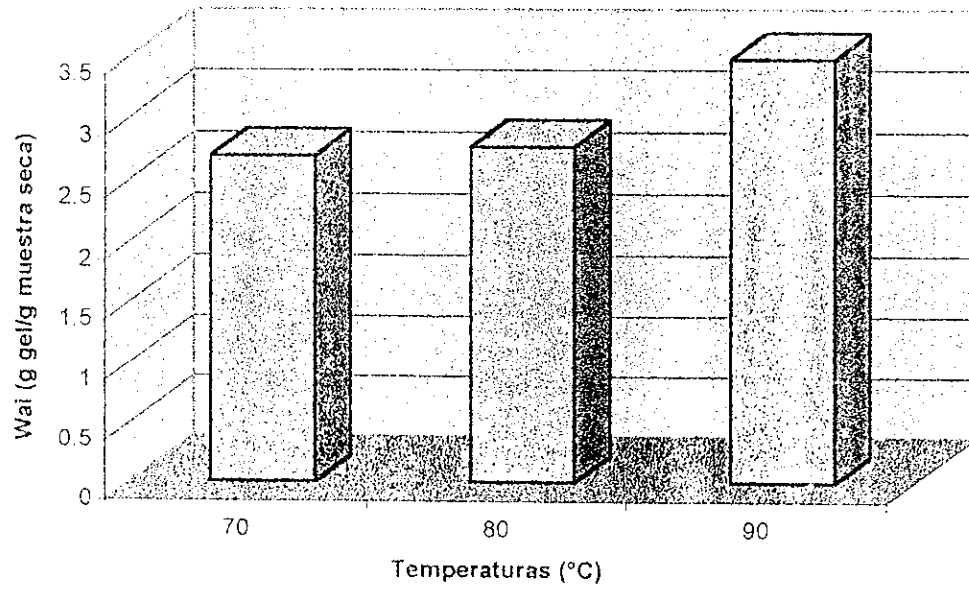
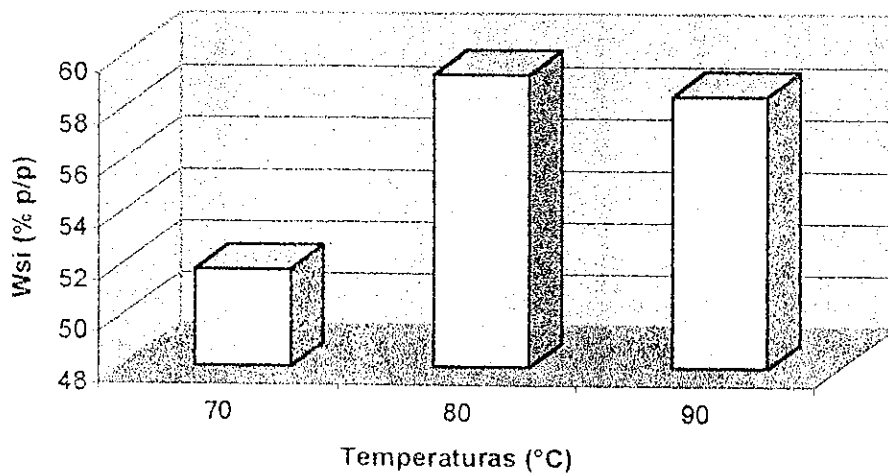


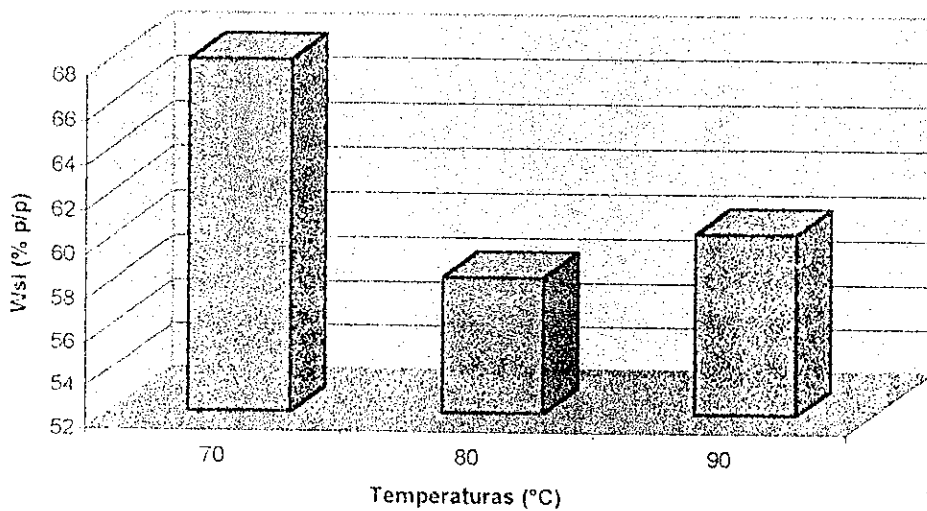
Tabla # 6: Índice de sólidos solubles (Wsi) para la piña (con y sin aditivos) a diferentes temperaturas

Harinas	Temperatura (°C)		
	70	80	90
	Wsi (% p/p)		
Piña sin aditivos	51.78	59.31	58.52
Piña + glucosa	67.96	58.25	60.29
Piña + metilcelulosa	50.64	24.51	49.21

Gráfica # 7: Wsi para la piña sin aditivos a diferentes temperaturas



Gráfica # 8: Wsi para la piña + glucosa a diferentes temperaturas



Gráfica # 9: Wsi para la piña + metilcelulosa a diferentes temperaturas

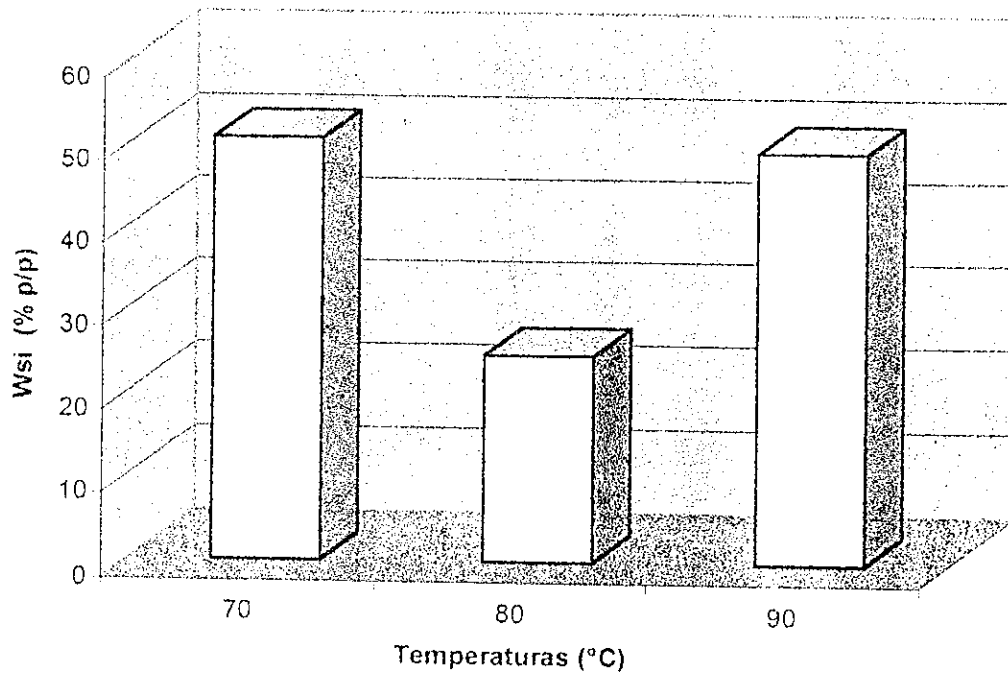
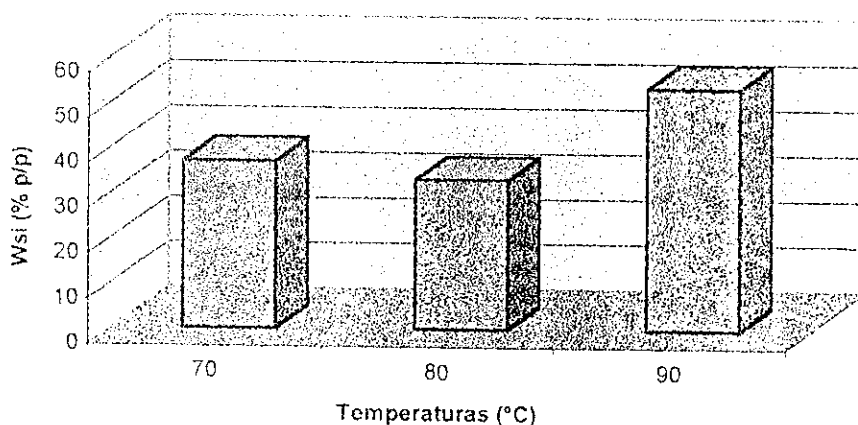


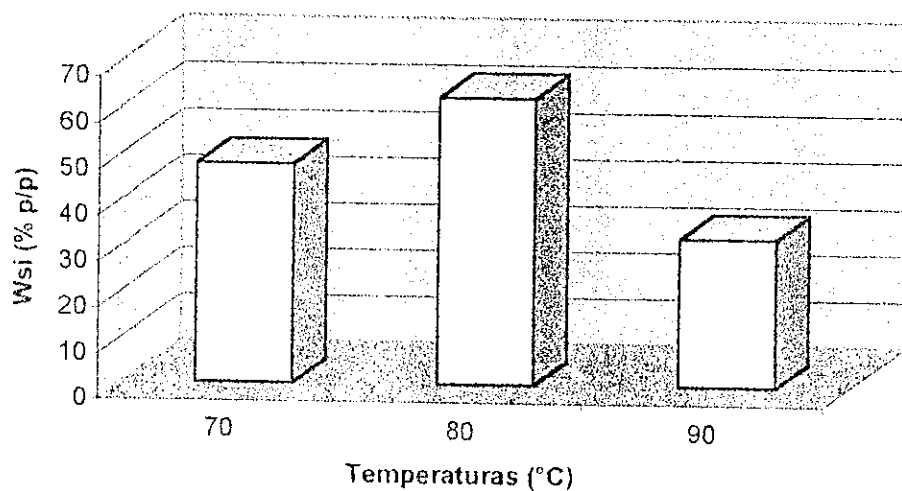
Tabla # 7: Índice de sólidos solubles en agua (Wsi) para la fresa (con y sin aditivos) a diferentes temperaturas

Harinas	Temperatura (°C)		
	70	80	90
	Wsi (% p/p)		
Fresa sin aditivos	37.07	33.11	53.54
Fresa + glucosa	47.82	62.26	32.31
Fresa + metilcelulosa	39.02	50.03	34.84

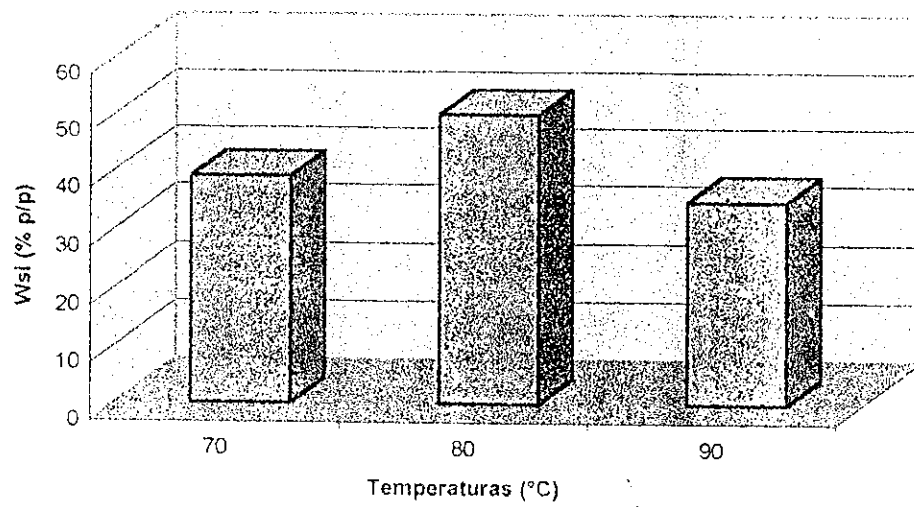
Gráfica # 10: Wsi para la fresa sin aditivos a diferentes temperaturas



Gráfica # 11: Wsi para la fresa + glucosa a diferentes temperaturas



Gráfica # 12: Wsi para la fresa + metilcelulosa a diferentes temperaturas



**Tabla # 7:** Formulación de los refrescos de frutas.

REFRESCO	FORMULACIÓN
PIÑA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10 gramos de harina de piña (<b>a 70°C x 365 min + 0.5% (p/p) de glucosa + 0.1% (p/p) ácido cítrico</b>)</li> <li>▪ 10 gramos de azúcar</li> <li>▪ 150 mL de agua fría</li> </ul>
FRESA	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 10 gramos de harina de fresa (<b>a 70°C x 265 min + 0.5% (p/p) de glucosa</b>)</li> <li>▪ 10 gramos de azúcar</li> <li>▪ 150 mL de agua fría</li> </ul>

**Tabla # 8:** Contenido de vitamina C en las harinas obtenidas y porcentaje de pérdida con respecto al valor del contenido de ácido ascórbico teórico.

*Piña:* Contenido teórico de vitamina C = 61 mg

*Fresa:* Contenido teórico de vitamina C = 70 mg

Harinas	Contenido de vitamina C (mg)	% pérdida (respecto al contenido teórico)
Piña	4.81	92.12%
Fresa	0.92	98.69%

**Tabla # 9:** Resultados de la Evaluación Sensorial.

*Tamaño de Muestra = 60 personas*

CATEGORÍA DE ACEPTACIÓN	REFRESCO DE PIÑA (CÓDIGO 222)		REFRESCO DE FRESA (CÓDIGO 454)	
	NÚMERO DE PERSONAS	% DE LA MUESTRA	NÚMERO DE PERSONAS	% DE LA MUESTRA
Me gusta	56	93.33%	58	96.67%
Me es indiferente	2	3.33%	2	3.33%
No me gusta	2	3.33%	0	0.00%

## **IX. DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A lo largo de todo el trabajo se mantuvieron condiciones higiénicas adecuadas al momento de elaborar la harina, tal como lo exigen las industrias alimenticias para elaborar productos de alta calidad.

Todas las frutas, sin excepción fueron lavadas y se eliminaron las frutas, o pedazos de las mismas, que no cumplían con las características deseadas, con el fin de que la calidad del producto final no se viera afectada. Luego, fueron desinfectadas en agua con cloro a una concentración de 5 ppm, durante 20-25 minutos para que matara todas las bacterias que pudieran haber en la fruta y luego se enjuagaron y lavaron con agua limpia para eliminar residuos de cloro que pudieran afectar en el sabor de la fruta.

Después de desinfectadas, las fresas fueron machacadas para facilitar el proceso de licuado ya que el homogenizado de las frutas se realizó sin agregar agua puesto que el objetivo principal era deshidratar la fruta y no se deseaba tener mayor cantidad de agua de la necesaria.

Las piñas se lavaron, pelaron y cortaron en trozos, y se eliminó únicamente las orillas. No se eliminaron los centros porque como el

producto final iba a ser deshidratado y la tendencia del consumidor hoy en día es tener productos naturales con fibra, se decidió aprovechar al máximo la materia prima disponible. Luego se formó un homogenizado licuando la piña, sin agregarle agua, por las razones explicadas para la fresa.

Para ambas frutas se procedió de la forma que a continuación se explica. Primero se procedió a deshidratar los homogenizados de fruta sin aditivos a diferentes temperaturas (70°C, 80°C y 90°C) para determinar el comportamiento de los homogenizados, tiempo máximo de secado y características físicas.

Inicialmente se decidió utilizar moldes de papel aluminio ligeramente engrasados, pero al colocar capas delgadas de los homogenizados de frutas e introducir al horno, se pudo observar que a medida que el producto se deshidratava, la fruta se quedaba pegada al papel aluminio, haciendo muy difícil la separación del producto del molde. Además que eran difíciles de manejar para pesar y realizar las curvas de secado.

Se decidió probar con moldes rígidos que fueran de algún material como el teflón para evitar que el producto se pegara, y en dado caso esto sucediera, se pudiera despegar raspando de alguna forma. Se compraron

moldes de teflón para hornear galletas y a pesar de que estaban hechos para que no se pegara ningún alimento, se engrasaron ligeramente con aceite de oliva. Esto ayudó a que se obtuviera una capa seca del homogenizado de fruta que se despegaba en caliente de forma muy fácil y cuando se dejaba enfriar, tenía una textura crujiente que hacía fácil que se deshiciera.

Solucionado este problema se procedió a hacer las variaciones de temperatura para elaborar las curvas de secado respectivas y determinar el comportamiento de las frutas para tener un patrón de comparación a la hora de agregar los aditivos (glucosa y metilcelulosa) y así poder determinar si dichos agentes ayudaban a mejorar el proceso de deshidratación.

Se escogieron temperaturas entre 70°C y 90°C, basándose en experimentos similares realizados anteriormente. No se escogió una temperatura definitiva ya que no se tenía referencia de experimentos realizados directamente con las frutas utilizadas y si se tuviera, las condiciones nunca podrían reproducirse de forma exacta.

Como el objetivo de poner a secar porciones del homogenizado de las frutas a diferentes temperaturas era elaborar curvas de secado para

observar el comportamiento de las frutas, cada diez minutos se tomó el peso de las muestras hasta que la variación era insignificante. Se tenía el peso inicial de las muestras y también el peso final, con estos datos se determinó la humedad final del producto; con base en la humedad inicial teórica de cada fruta.

Una vez realizadas las curvas para los homogenizados de frutas sin aditivos, se procedió a agregar glucosa y metilcelulosa a los homogenizados a una concentración de 0.5% (p/p) para ver el efecto que estos agentes tenían sobre el secado. Para ello se decidió elaborar curvas de secado a las mismas temperaturas que para el control. Se observó que para todas las temperaturas, estos agentes mejoraban el tiempo de secado, ayudaban a evitar que se perdiera el color y sabor, y en algunos casos mejoraban también la apariencia, probablemente debido también al menor tiempo de residencia en el horno.

A 90°C, ambas frutas sin aditivos, experimentaron un cambio drástico de color a café oscuro. Además perdieron su aroma natural y en el caso de la piña, se observó caramelización y el sabor y color eran de caramelo. El sabor no era agradable para el consumo y tardó demasiado tiempo (10.5 horas) en secarse debido a que la caramelización no permitía la fácil liberación de agua. A esta misma temperatura (para la piña), al

agregar glucosa y metilcelulosa, el tiempo de secado fue de 150 minutos, con esto, se redujo en un 76.2% (se tomó como base para la comparación el tiempo de secado para las frutas sin aditivos) lo cual es realmente significativo en lo que se refiere a costos de energía y producción(Ver Tabla # 2 en Resultados). De forma similar, para la fresa, al agregar glucosa, el tiempo de secado se redujo en 52.27% y al agregar metilcelulosa en 65.9% (Ver Tabla # 2 en Resultados). El producto obtenido retuvo mejor su color original, aunque definitivamente se pudo observar que 90°C fue una temperatura muy alta para ambas frutas (Ver Tabla # 3 – Capacidad de rehidratación). Aún así, la piña no caramelizó, aunque presentó empardeamiento.

A 80°C, la reducción de tiempo de secado entre los homogenizados de fresa sin aditivos y el de fresa + glucosa, prácticamente no se observó, pero al comparar con la fresa + metilcelulosa, se observó una disminución de tiempo de secado de 41.38%, como se puede observar en la Tabla # 2 en resultados, aunque la rehidratación fuera regular (ver Tabla # 3). Para la piña a esta misma temperatura, al agregar glucosa, no hubo diferencia en tiempo de secado y con metilcelulosa el tiempo se redujo en 28.125% (Ver Tabla # 2 en resultados), y aunque la rehidratación fue buena, con la glucosa se conservó mejor el olor y color de la piña.

A 70°C, se pudo observar que el tiempo de deshidratación para la piña sin aditivos fue el mismo que para la piña + glucosa y que el tiempo que tardó en secarse la piña + metilcelulosa fue de 97.14%, una disminución en el tiempo de secado de únicamente 2.86%, lo cual no es verdaderamente significativo y no pudo observarse en la rehidratación, pues la harina con glucosa volvió a mostrar, aunque fuera de forma ligera, mejores características.

Para la fresa a 70°C siguió observándose una disminución en el tiempo de secado, no tan notoria como a 90°C pero del orden del 20% (Ver Tabla # 2 en Resultados).

Las reducciones en el tiempo de secado se pueden explicar de manera lógica pues al agregar glucosa y metilcelulosa se agregaron sólidos solubles al homogenizado y al hacer esto se disminuye la capacidad de retención de agua de la muestra, con lo cual tarda menos en evaporarse la mayoría del agua y resulta en un menor tiempo de residencia de la muestra en el horno, pues se llegará de forma más rápida a la humedad final deseada.

Aunque en la mayoría de los casos la humedad final promedio obtenida fue más baja con aditivos, hubo casos en que la humedad final

obtenida no fue tan baja como la obtenida sin aditivos. Esto podría explicarse ya que al agregar más azúcares a los homogenizados de frutas, estos se volvían más higroscópicos, haciendo más difícil llevar a cabo la deshidratación hasta una humedad menor, aunque el tiempo que este proceso llevara se disminuyera al agregar dichos aditivos.

Antes de proceder a la molienda, el producto deshidratado se guardó en bolsas de plástico cerradas y rotuladas con masking tape (después que el producto hubiera alcanzado su equilibrio térmico para evitar condensación en las muestras y la consiguiente ganancia de humedad).

Ya que se manejaron cantidades pequeñas de muestra, para moler el producto se utilizó una licuadora, para evitar pérdidas excesivas de producto y gasto innecesario de energía que se utilizaría en un molino; además que con la licuadora se obtuvo una harina aceptable de las frutas, por lo cual no se justificó el uso de un molino.

Después de moler se procedió a realizar pruebas de rehidratación con cada muestra de los procesos a diferentes temperaturas, con y sin aditivos, para determinar cuál había sido el mejor proceso de elaboración que proporcionara el mejor producto, con las características más agradables (color, olor, textura y sabor) y que se rehidratara mejor.

Se determinó que el producto resultante, después de ser molido en la licuadora, debía pasarse por un tamiz ya que al efectuar las pruebas de rehidratación, las partículas que no se habían convertido en gránulos o polvo, no se disolvían en el agua, quedaban flotando en la superficie, lo cual daba como resultado una apariencia poco agradable para el consumo y una rehidratación pobre.

Se hizo pasar las harinas de frutas obtenidas por un tamiz pequeño para que se eliminaran las partículas de la harina que no tenían un tamaño adecuado; las partículas más grandes fueron retiradas del producto final con el fin de mejorar la rehidratación y la apariencia del producto final.

Las harinas rehidratadas fueron observadas para evaluar sus características físicas y se determinó, de forma cualitativa, que el proceso más adecuado para elaborar harinas de fresa y piña fue cuando se agregó glucosa 0.5% p/p a 70°C, ya que el tiempo de secado era aceptable, se llegaba a una humedad final de 6-7% para la fresa y 9-10% para la piña (Ver Tabla # 1 en Resultados), el color, olor y sabor originales se conservaban de mejor forma y la rehidratación era apropiada (Ver Tabla # 3 en Resultados). De esto se pudo ver que a pesar que con la metilcelulosa también se reducía considerablemente el

tiempo de secado, la rehidratación no era tan buena como al agregar glucosa, por ésto, para ambas frutas resultó mejor utilizar glucosa.

Para un análisis más objetivo sobre la rehidratación de las harinas de frutas a las diferentes temperaturas, de las Tablas # 4 y 5 (Ver Resultados) se puede observar que el índice de absorción de agua (Wai) para ambas frutas, a 90°C es siempre más bajo que a 80° y 70°C, esto quiere decir que a mayor temperatura la capacidad que tiene la muestra de retener agua, disminuye, sus propiedades se ven afectadas por una temperatura elevada y por lo tanto la rehidratación no se ve favorecida.

En el caso del valor de Wai obtenido a 90°C para la piña sin aditivos se puede observar que dicho valor es mayor que el obtenido para los 80°C, lo cual estaría en desacuerdo con lo anteriormente expuesto, pero ésto se puede explicar ya que a 90°C, el homogenizado de piña caramelizó y a pesar de haber estado expuesto a un largo tiempo de secado (Ver Tabla # 2 – Resultados) no llegó a perder la humedad deseada, ya que al formarse el caramelo, el agua quedó atrapada, y llegó a un punto en el que la liberación de agua del alimento ya no era posible, y aumentaba al final su retención de agua.

De igual forma, podría ofrecerse esta explicación para ambas frutas + metilcelulosa a 90°C, pues se dio el mismo caso en que el valor de Wai es mayor a 90°C que a 80°C (Ver Gráficas # 3 y 6 – Resultados); pero en lugar de esto debe considerarse que la metilcelulosa es una goma que, a diferencia de otras gomas como la carboximetilcelulosa (CMC), su viscosidad aumenta mientras aumenta la temperatura en lugar de disminuir, lo cual implica que su retención de agua aumentará al aumentar la temperatura, pues a mayor temperatura gelatinizará. Esto se observa de forma clara en la gráfica # 6 (Ver Resultados).

De la determinación del índice de sólidos solubles (Wsi) (Ver Tablas # 6,7 y Gráficas # 7-12) se puede observar que no se pudo establecer un patrón de comportamiento de las muestras, pero esto podría explicarse ya que el método utilizado normalmente se aplica a harinas (maíz, trigo, amaranto, etc.) cuyo contenido de azúcares no es tan alto como el de las harinas obtenidas de frutas y al poner a secar el sobrenadante, después de centrifugar, este resultaba ser un líquido altamente viscoso, el cual, después de secarlo, se convertía en caramelo, haciendo imposible que realmente se obtuviera un producto seco. Se llevó a masa constante pero no se puede decir que se obtuvo realmente lo esperado, pues al caramelizar, no se eliminó toda el agua que quedó retenida, lo cual no

proporcionó el contenido de sólidos solubles reales de las diferentes muestras.

Debe considerarse que las frutas son alimentos complejos en cuanto a componentes se refiere, que se comportan de maneras distintas con la temperatura y que interactúan unos con otros, por ello, aunque en general, la glucosa y metilcelulosa mejoran las condiciones de secado (disminuyen tiempo de secado y mejoran las propiedades de las harinas), en algunos casos se darán resultados diferentes ya que no todos los componentes de las frutas ni todas las frutas reaccionan de igual forma a la variación de condiciones de secado; es por esto que se realiza este tipo de trabajos para determinar el comportamiento de los objetos de estudio bajo las condiciones propuestas.

De este análisis cuantitativo se pudo concluir a lo que se había llegado de forma cualitativa, que la mejor temperatura para llevar a cabo el proceso era a 70°C. En cuanto a qué aditivo utilizar, se decidió basado en que se diera el menor tiempo de secado que brindara el producto con mejores características (Ver Tablas # 2 y 3 – Resultados), pues la metilcelulosa proporcionaba menores tiempos de deshidratación y mayor capacidad de retención de agua que la glucosa, pero la rehidratación era mejor para la glucosa y todavía el tiempo de secado era menor o igual

que el de las frutas sin aditivos. Por lo anterior, se concluyó que las condiciones óptimas para llevar a cabo el proceso eran a 70°C, agregando glucosa.

Al haber determinado el mejor proceso, se procedió a secar piña y fresa en estas condiciones para obtener de una vez el producto final que se daría a probar a los consumidores.

Como en las pruebas a las diferentes temperaturas se observó que la piña se empardeaba a medida que aumentaba la temperatura, se decidió agregarle 0.1% (p/p) de ácido cítrico como agente antioxidante, para realzar el sabor del producto y mejorar la presentación haciendo que la piña conservara mejor su color natural.

Una vez obtenido el producto seco de ambas frutas, se procedió a molerlo en licuadora y a colarlo en un tamiz pequeño. Se eliminaron las partículas más grandes que se sabía no favorecían la rehidratación y apariencia del refresco.

Antes de la Evaluación sensorial se llevó a cabo la determinación del contenido de vitamina C en el producto final, para ver cuánto se había perdido de la misma durante el procesamiento.

Se encontró que para la harina obtenida de fresa, el contenido de vitamina C era de tan solo 0.92 mg, que al compararlo con el valor teórico de 70 mg resulta en una pérdida de 98.69%. Para la harina de piña, su contenido de ácido ascórbico fue de 4.81 mg, el cual al ser comparado con el valor encontrado en la literatura, significaba una pérdida de 92.12% (Ver Tabla # 8 - Resultados). Desde el inicio se sabía que iba a haber una pérdida grande de vitamina C, ya que esta vitamina es termolábil, se degrada al aumentar la temperatura, pero se deseaba saber el contenido de dicha vitamina en el producto final. La razón por la cual la pérdida en piña no fue tan grande como en la fresa se debe probablemente a que antes de secar, al homogenizado de piña se le agregó 0.1% de ácido cítrico como agente antioxidante, y sin duda alguna, significó un aporte para el contenido de vitamina C de la piña, pues además ayudó a que ésta no se oxidara por completo.

Nuevamente se procedió a hacer las pruebas de rehidratación cualitativas de las harinas de frutas, ahora únicamente con el aditivo y temperaturas elegidas, determinándose que para la formulación de ambos productos, bastaba agregarle a 10 gramos de la harina resultante del homogenizado de frutas deshidratado, 150 mL de agua y 10 gramos de azúcar, para obtener un refresco de apariencia, color, olor y sabor agradables (Ver Tabla # 7 en Resultados).

Después de elaborado el refresco, se realizó una prueba de Evaluación Sensorial de Aceptación para los productos terminados (las harinas) en forma de refresco (rehidratadas y con azúcar), para determinar si los productos elaborados eran aceptados por el consumidor.

Para ello, se utilizó una muestra de 60 personas (20 personas aproximadamente cada día, durante 3 días de prueba) de ambos sexos y de diferentes edades y clases socioeconómicas en un salón apropiado para la prueba, equipado con mesas y sillas suficientes para los participantes.

A cada persona se le asignaron tres vasos pequeños, transparentes, que contenían, el primer vaso, 50 mL aproximadamente de refresco de piña (código 222), el segundo, 50 mL aproximadamente de refresco de fresa (código 454) y el tercero, 100 mL aproximadamente de agua pura. Se les proporcionó un poco más de agua pura ya que el participante debía tomar agua entre cada refresco para eliminar el sabor del anterior y para que al terminar la prueba pudiera eliminar el sabor de las muestras, en caso no le hubieran gustado.

A cada persona se le proporcionó un lápiz y una boleta (Ver muestra de boleta utilizada en Apéndice B) que indicaba tres categorías: 1. Me

gusta, 2. Me es indiferente y 3. No me gusta, diseñada específicamente para esta prueba, para determinar la aceptación de los refrescos.

Después de terminada la prueba, se determinó el porcentaje de personas que se encontraban en las diferentes categorías para determinar si los productos fueron aceptados o no (Ver Tabla # 9 en Resultados).

De la Tabla # 9 en Resultados, se determinó que, para el refresco de piña (con código 222) el 93.33% de las personas del panel, consideró la muestra agradable al gusto, al 3.33% le resultó indiferente y al 3.33% no le gustó.

Para el refresco de fresa se obtuvo un resultado aún más alentador ya que el 96.67% de la población encuestada le gustó el refresco mientras que únicamente un 3.33% le pareció indiferente y al 0.00% del panel no le gustó (Ver Tabla # 9 en Resultados).

De lo anterior, se puede concluir que los productos elaborados para la piña y fresa fueron aceptados por el consumidor.

## X. CONCLUSIONES

1. Por un método de deshidratación por aire caliente se puede preparar harinas de frutas para la elaboración de refrescos.
2. Se determinó que el proceso más adecuado para elaborar harinas de fresa y piña, para este experimento, es agregando glucosa 0.5% p/p a 70°C.
3. A pesar que con la metilcelulosa también se reducía considerablemente el tiempo de secado, la rehidratación no era tan buena como agregar glucosa, por ésto, para ambas frutas resultó mejor utilizar glucosa.
4. La glucosa y metilcelulosa se pueden considerar como agentes que reducen el tiempo de secado y mejoran las características del producto final.
5. La metilcelulosa es una goma que al aumentar la temperatura incrementa su viscosidad y resultará en una mayor capacidad de retención de agua.

6. Para la formulación del refresco de piña y fresa, bastaba agregarle a 10 gramos de la harina de frutas resultante, 150 mL de agua y 10 gramos de azúcar, para obtener un refresco de apariencia, color, olor y sabor agradables.
7. Las harinas de piña y fresa resultantes contenían 4.81 mg y 0.92 mg de vitamina C, respectivamente.
8. Al comparar los valores del contenido de vitamina C de los productos finales con los valores teóricos iniciales, se observó una pérdida de ácido ascórbico de 92.12% para la piña y 98.69% para la fresa.
9. Se determinó que para el refresco de piña (con código 222), 93.33% de las personas del panel consideró la muestra agradable al gusto, al 3.33% le resultó indiferente y al 3.33% no le gustó.
10. Para el refresco de fresa se obtuvo un resultado aún más alentador, ya que a 96.67% de la población encuestada le gustó el refresco, mientras que únicamente 3.33% le pareció indiferente y al 0.00% del panel no le gustó.

11. Se puede concluir que los productos elaborados fueron aceptados por el consumidor.

## **XI. RECOMENDACIONES**

- A. El producto obtenido en este trabajo, harinas de fruta, únicamente fue utilizado para la elaboración de refrescos ya que ése era el fin de la investigación. Se recomienda que dicho producto sea utilizado en la industria como materia prima para la elaboración de otros productos debido a que provee facilidad de manejo, uso y conservación, además podría ser de uso en la industria de lácteos, confitería y pastelería, entre otros.
- B. Es importante obtener las harinas de fruta por otro método de deshidratación que reduzca la pérdida de vitamina C, ya que aunque el método utilizado dio como resultado un producto aceptado por el consumidor, se cree que podrían obtenerse mejores resultados por un método que produzca menos daño a las vitaminas y proteínas que se pierden durante el procesamiento.
- C. Mejorar el empaque de las muestras, empacándolas al vacío sería una buena opción, ya que las harinas obtenidas son altamente higroscópicas debido a la cantidad de azúcares que contienen.

D. También se sugiere, realizar estudios sobre vida de anaquel, ya que como este producto se creó lo más natural posible, no se agregó preservante extra para alargar su vida útil.

## XII. LITERATURA CITADA

- 1) Abdelhaq, E.H. y T.P. Labuza. 1987. **Air Drying Characteristics of Apricots.** Journal of Food Science. Vol. 52, No. 2. Págs. 342 - 345.
- 2) Bender, A.E. 1984. **Dictionary of Nutrition and Food Technology.** 5a edición. Butterworth & Co. Publishers, Ltd. Inglaterra. 309 pp.
- 3) Berry, R.E., et al. 1967. **Conditions for producing Foam-Mat-Dried Grapefruit crystals.** Food Technology. Vol. 21. Págs. 75 - 78.
- 4) Cal-Vidal, J. y M. Falcone. 1985. **Processing conditions affecting the hygroscopic behavior of freeze-dried passion fruit juice.** Journal of Food Science. Vol. 50. No. 5. Págs. 1238 - 1241.
- 5) Cásseres, E. 1966. **Frutales de clima templado.** Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Dirección General para la zona norte. 151 pp.
- 6) **Enciclopedia americana.** 1963. Tomos 18, 21, 25. Editorial Americana Corporation. Edición Internacional. 30 Tomos.

- 7) Foda, Y.H., M.G.E. Hamed y M.A. Abd-Allah. 1970. **Preservation of orange and guava juices by freeze drying.** Food Technology. Vol. 24, No. 12. Págs. 74 - 80.
  
- 8) Furia, T.E. 1981. **CRC Handbook of Food Additives. Volumen I.** 2a edición. CRC Press. Florida, E.E.U.U.
  
- 9) Henig, Y. y C.H. Mannheim. 1971. **Drum drying of tomato concentrate.** Food Technology. Vol. 25, No. 2. Págs. 59 - 62.
  
- 10) ICAITI. 1976. **Guía para la exportación de productos agrícolas no tradicionales, Piña.** Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial. Guatemala. 57 pp.
  
- 11) INCAP. 1996. **Valor Nutritivo de los Alimentos de Centroamérica.** Organización Panamericana de la Salud.
  
- 12) Kennard, W.C. y H.F. Winters. 1963. **Frutas y nueces para el trópico.** 1ª edición. Editorial Limusa - Wiley, S.A. México, D.F. 177 pp.

- 13) Kirk, R. y D. Othmer. 1962. **Enciclopedia de Tecnología Química. Tomo 8**. Editorial UTEHA. México.
- 14) Papagiannes, G.J. 1992. **Select the right dryer**. Chemical Engineering Progress. págs. 20 – 26.
- 15) Potter, N.N. y J.H. Hotchkiss. 1995. **Food Science**. 5ª edición. Chapman & may. Nueva York, E.E.U.U. 608 pp.
- 16) Pinto, C.H.A. 1994. Tesis: **Producción, caracterización y utilización de zapote deshidratado por ósmosis y aire caliente**. Universidad del Valle de Guatemala. Guatemala. Págs. 125 pp.
- 17) Schwartz, M. 1998. **Deshidratación**. Notas del curso de Postgrado de Agroindustria de Frutas y Hortalizas.
- 18) Toledo, R.T. 1991. **Fundamentals of Food Process Engineering**. 2ª edición. Editorial Van Nostrand Reinhold. New York, USA. 602 pp.
- 19) Treybal, R.E. 1988. **Operaciones de transferencia de masa**. 2ª edición. Editorial McGraw – Hill. México. 858 pp.

# APÉNDICES

## CONTENIDO

### APÉNDICE A:

Listado de figuras utilizadas:

**Figura 1:** Relaciones de peso y volumen en jugos deshidratados.

**Figura 2:** Filetes deshidratados por congelamiento rehidratados y cocinados.

**Figura 3:** Tipos de humedad.

**Figura 4.a.:** Isotherma de desorción de rodajas de manzana crudas y tasas de secado a diferentes contenidos de humedad.

**Figura 4.b.:** Etapas del secado de un sólido.

**Figura 5:** Varios secadores.

**Figura 6:** Un tipo de secador de gabinetes o bandejas.

**Figura 7:** Construcción típica de un secador de túnel con flujo a contracorriente.

**Figura 8:** Un tipo de secador por levantamiento de aire.

**Figura 9:** Esquemas de construcción de un secador de lecho fluidizado.

**Figura 10:** Elementos de un sistema de deshidratación al vacío.

**Figura 11:** Secador rotatorio horizontal al vacío con agitador doble espiral.

**Figura 12.a.:** Secador de tambor con alimentación por remojo.

**Figura 12.b.:** Secador de tambor con un sólo tambor.

**Figura 12.c.:** Secador de doble tambor.

**Figura 13.a.:** Secador de lecho fluidizado (esquemático).

**Figura 13.b.:** Secador de lecho fluidizado circular.

**Figura 13.c.:** Placa de distribución de un secador de lecho fluidizado.

**Figura 14:** Diagrama esquemático de un secador por congelamiento que muestra una trampa de vapor afuera de la cámara de vacío.

**Figura 15:** Técnica de formación de cráteres del método de deshidratación por colchón de espuma.

**Figura 16:** Secadores por aspersion.

**APÉNDICE B:**

Boleta utilizada para la Evaluación Sensorial.

**APÉNDICE C:**

Curvas de Secado realizadas para las dos frutas utilizadas (piña y fresa) a las diferentes temperaturas con y sin aditivos.

**APÉNDICE D:**

□ Fórmula utilizada para el cálculo de Wai:

$$\text{Wai} = \frac{\text{g gel}}{\text{g muestra seca}}$$

□ Fórmula utilizada para el cálculo de Wsi:

$$\text{Wsi} = \frac{\text{g sobrenadante seco}}{\text{g muestra seca}} \times 100$$

# APÉNDICE A

Figura 1: Relaciones de peso y volumen en jugos deshidratados.

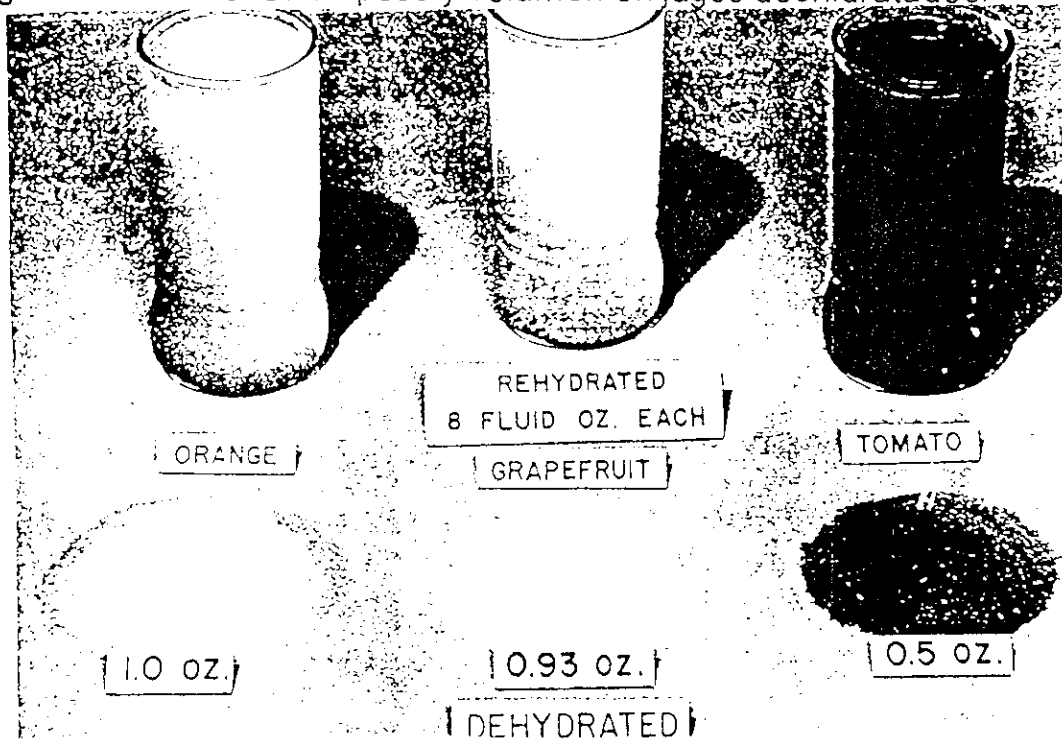


Figura 2: Filetes deshidratados por congelamiento rehidratados y cocinados.

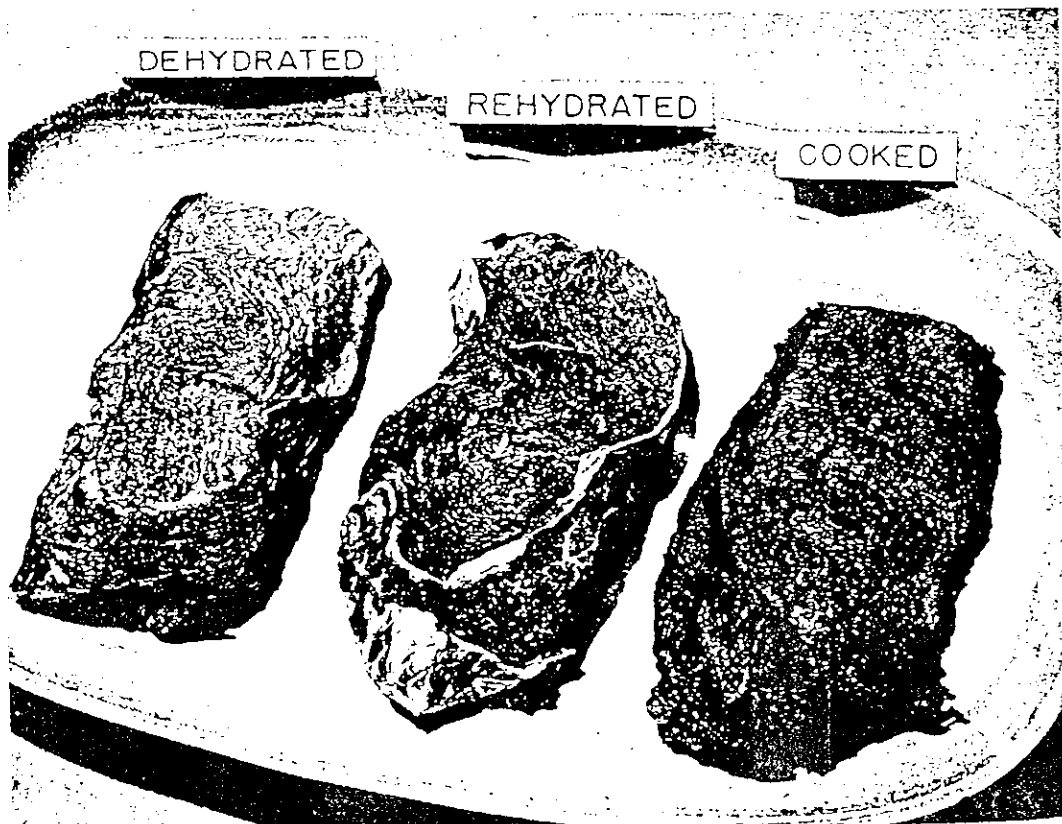


Figura 3: Tipos de humedad.

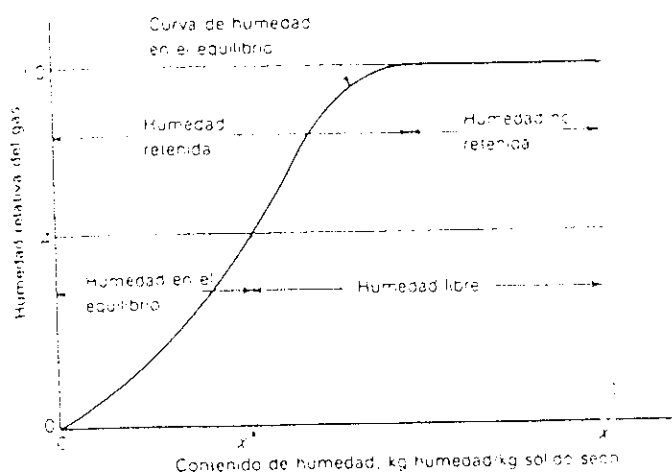


Figura 4.a.: Isotherma de desorción de rodajas de manzana crudas y tasas de secado a diferentes contenidos de humedad.

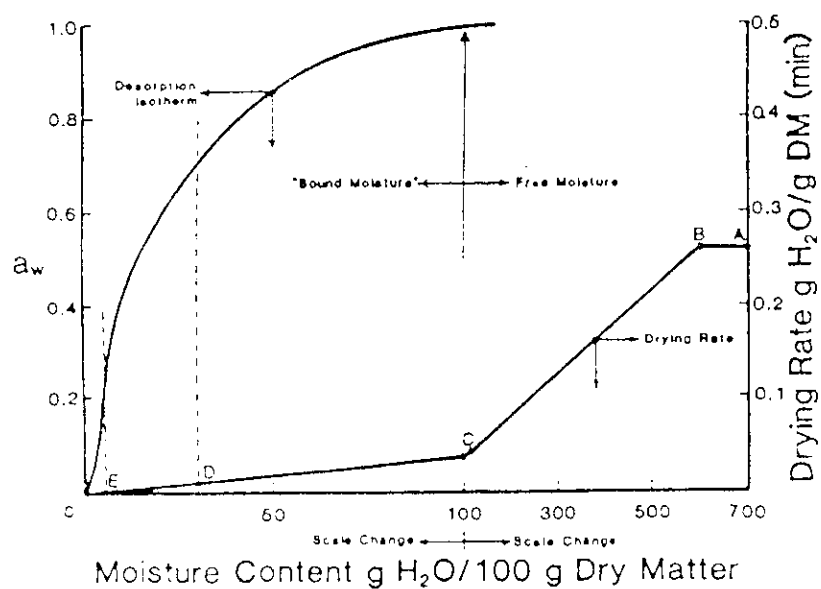
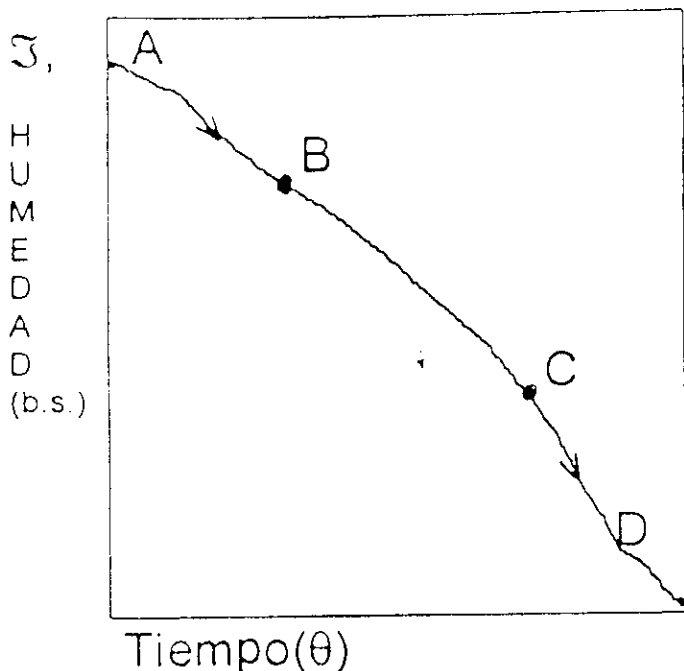


Figura 4.b.: Etapas del secado de un sólido.



A-B: Pérdida de H<sub>2</sub>O por evaporación desde la superficie saturada.

B-C: La superficie saturada desciende

C-D: El H<sub>2</sub>O evapora desde el interior.

Se observan mejor en gráfico d  $\mathfrak{S}/d\theta$  frente a  $\mathfrak{S}$  o  $d\mathfrak{S}/d$  vs.  $\theta$

$d\mathfrak{S}/d\theta$ , vel. secado

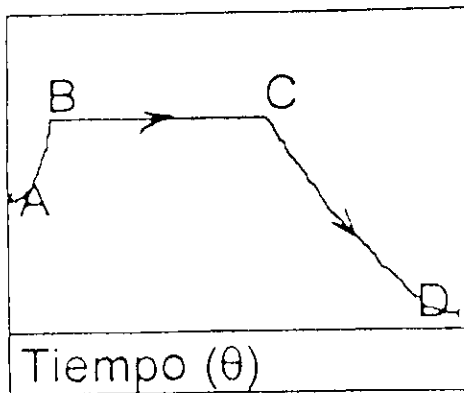
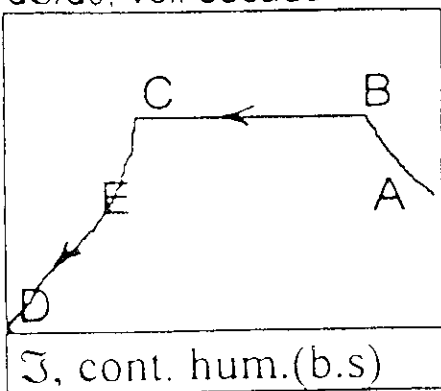
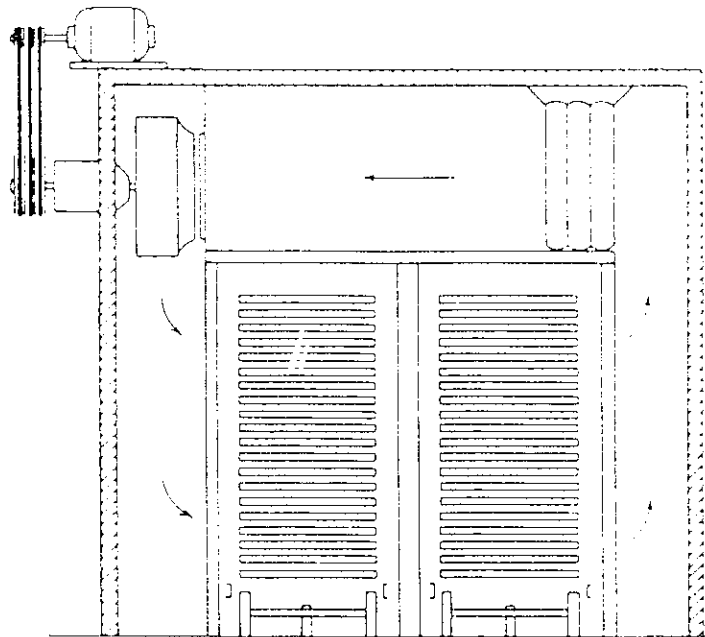
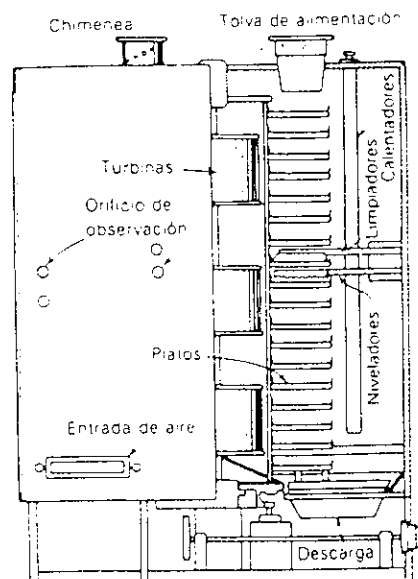


Figura 5: Varios secadores.

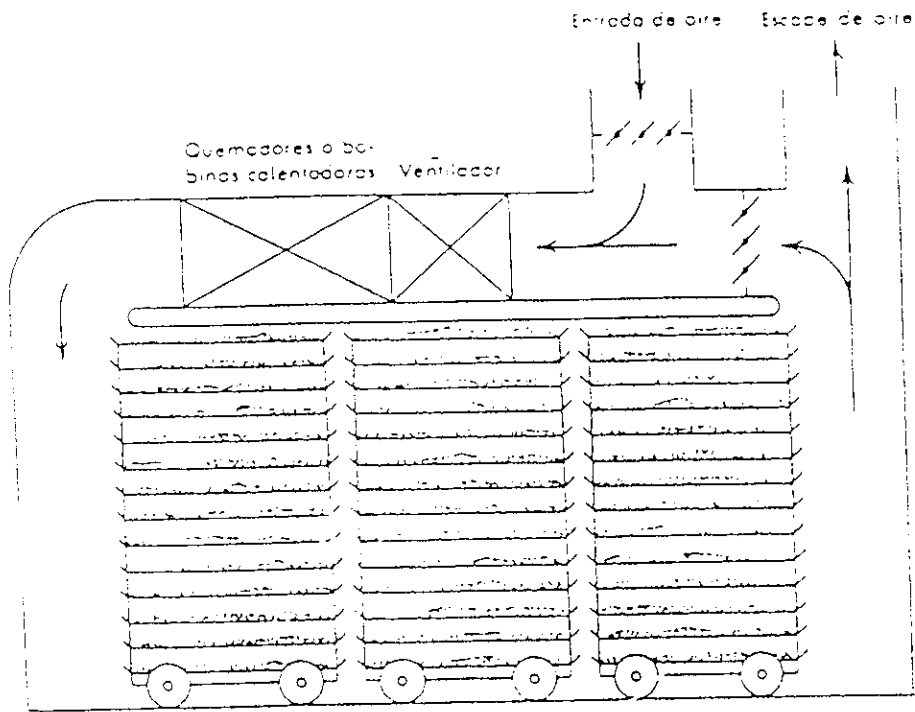
Secador de doble camión



Secador de tipo turbo.



### Secador de tunel



### Secador de banda

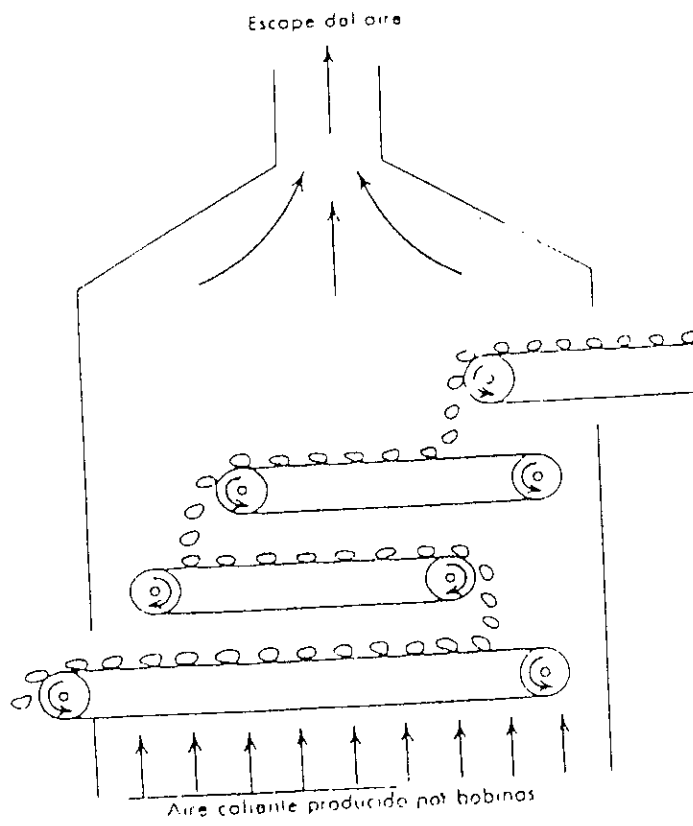


Figura 6: Un tipo de secador de gabinetes o bandejas.

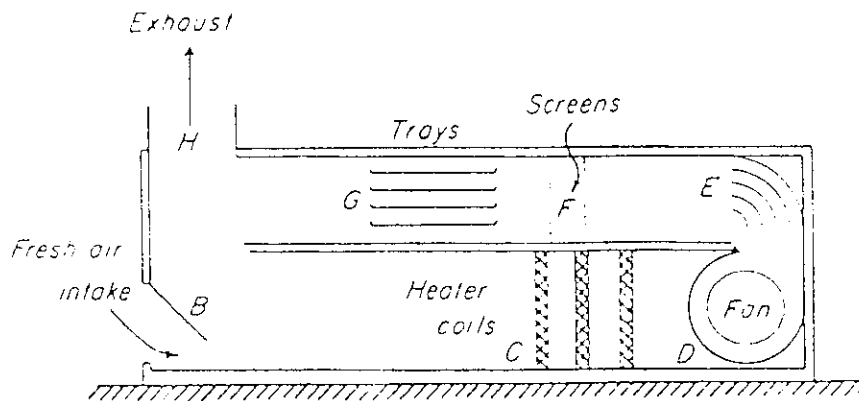


Figura 7: Construcción típica de un secador de túnel con flujo a contracorriente.

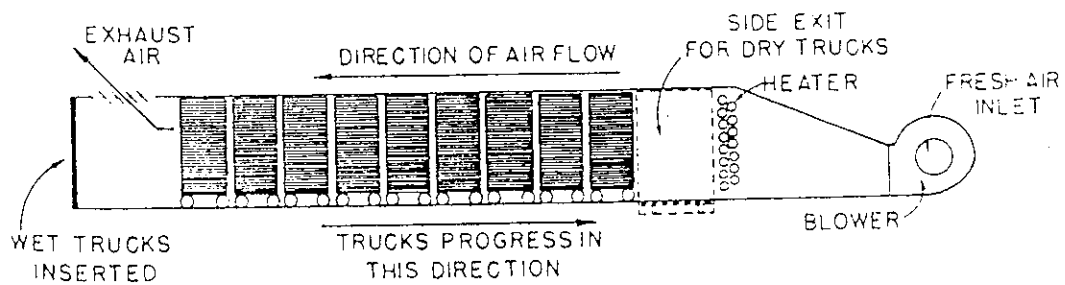


Figura 8: Un tipo de secador por levantamiento de aire.

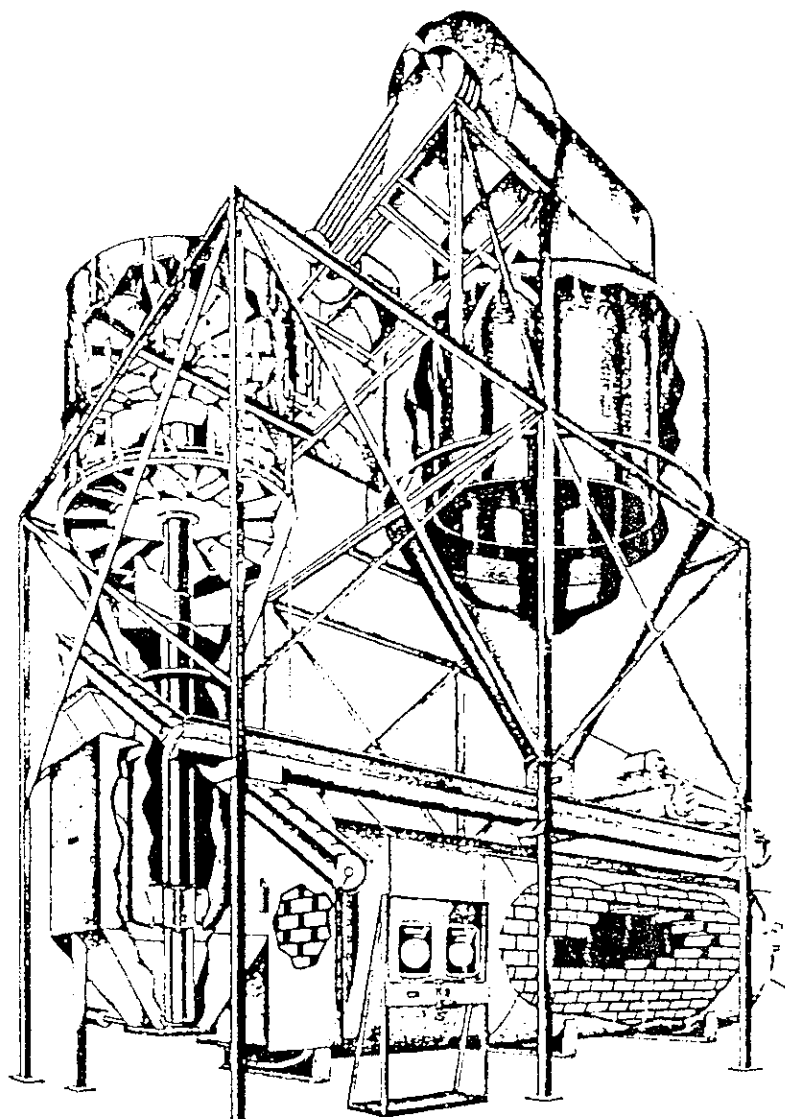


Figura 9: Esquemas de construcción de un secador de lecho fluidizado.

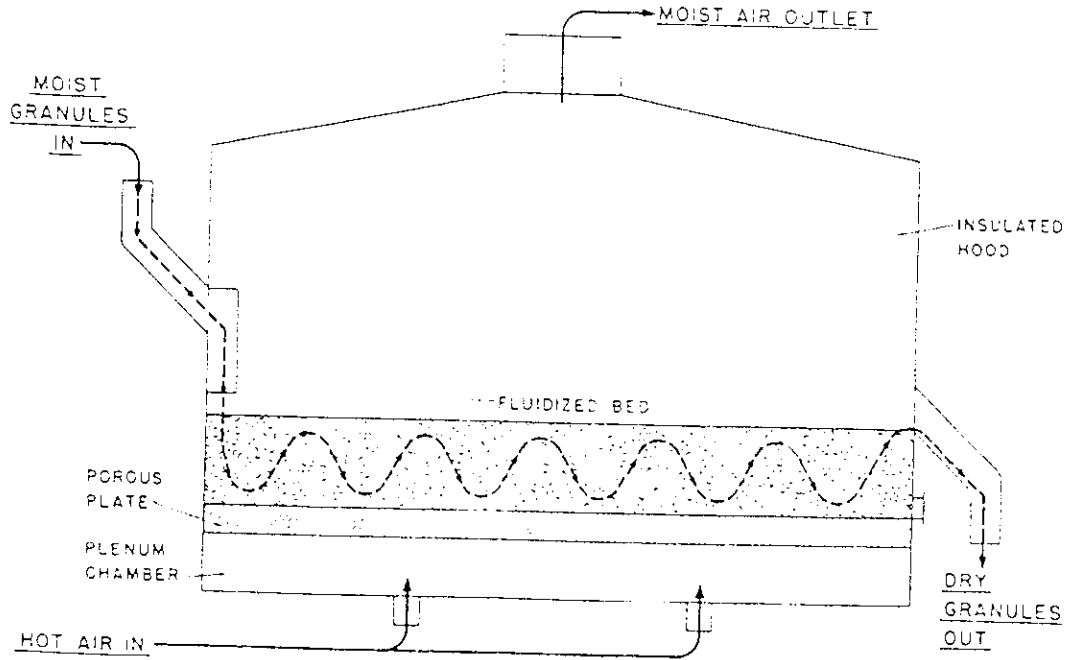


Figura 10: Elementos de un sistema de deshidratación al vacío.

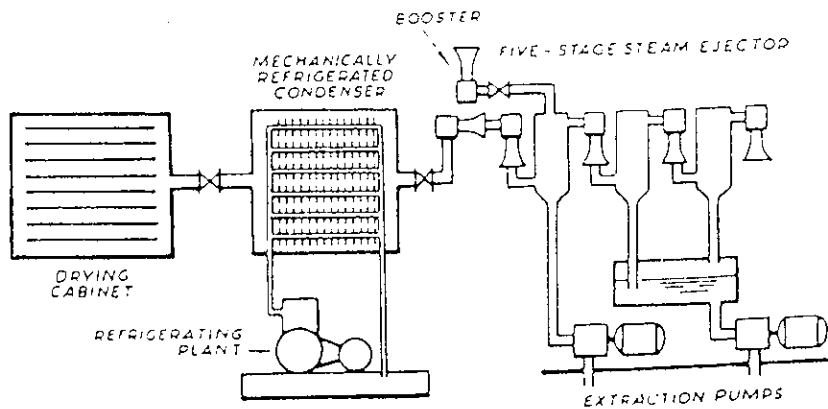
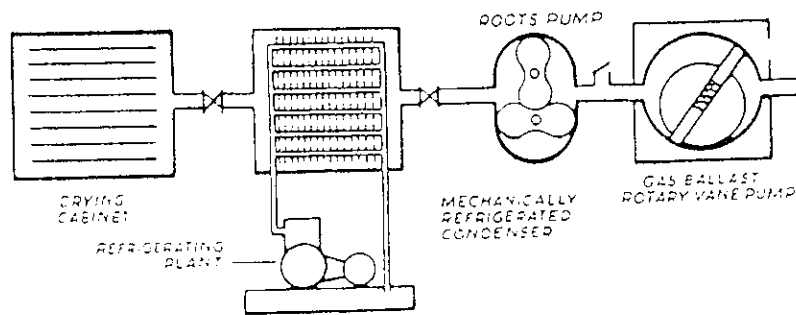
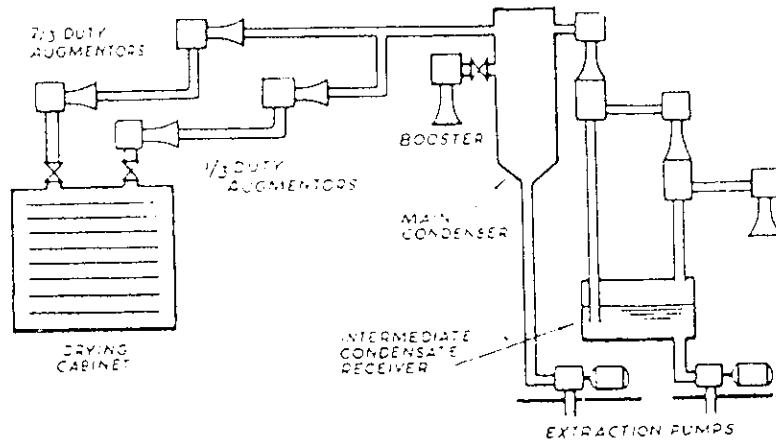




FIGURA 13 a. Secador de lecho fluidizado (esquemático).

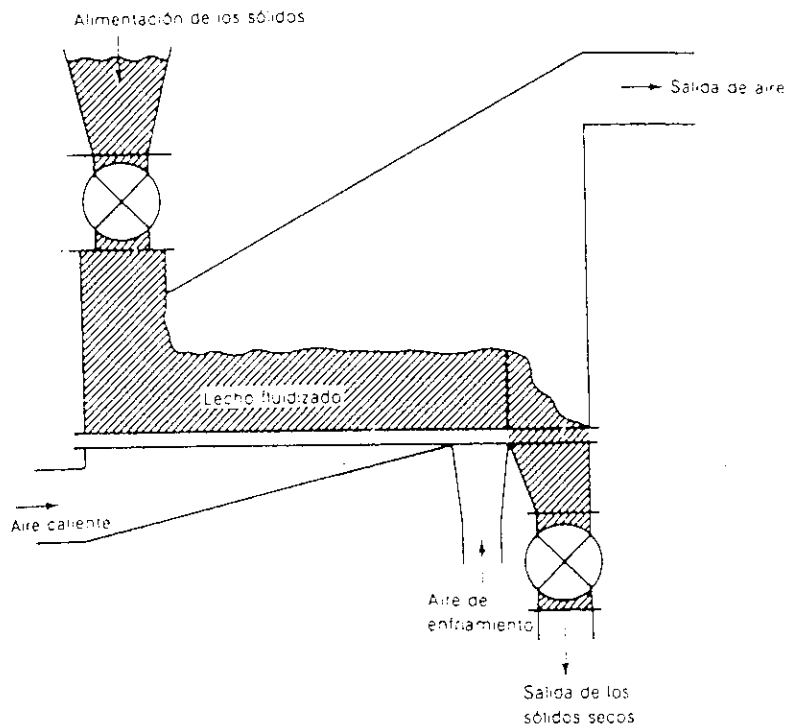


FIGURA 13 b. Secador de lecho fluidizado circular

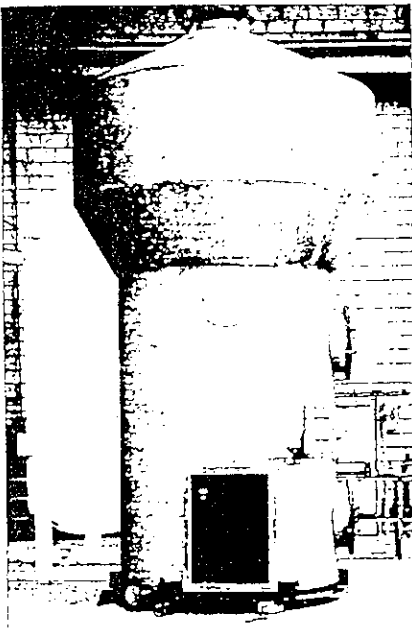
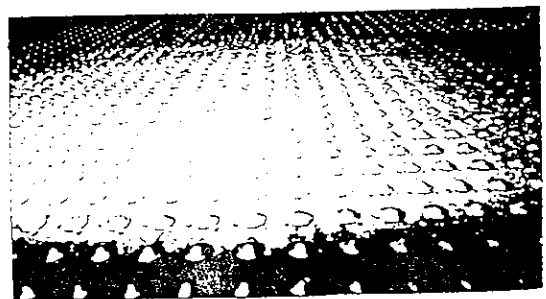
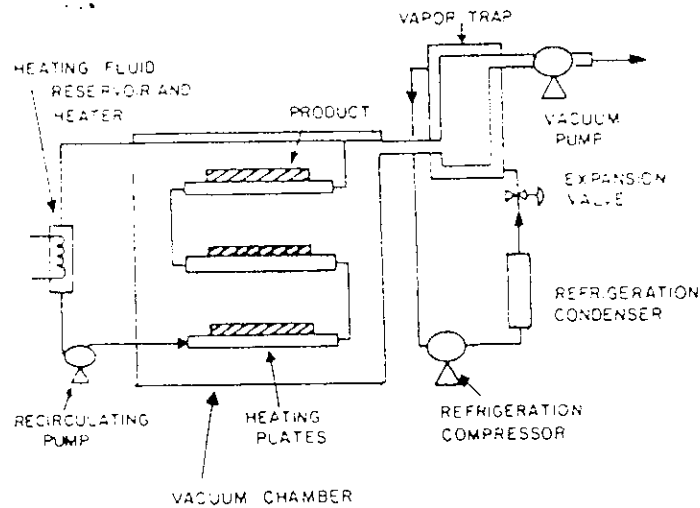


FIGURA 13 c. Placa de distribución de un secador de lecho fluidizado



**Figura 14:** Diagrama esquemático de un secador por congelamiento que muestra una trampa de vapor afuera de la cámara de vacío.



**Figura 15:** Técnica de formación de cráteres del método de deshidratación por colchón de espuma.

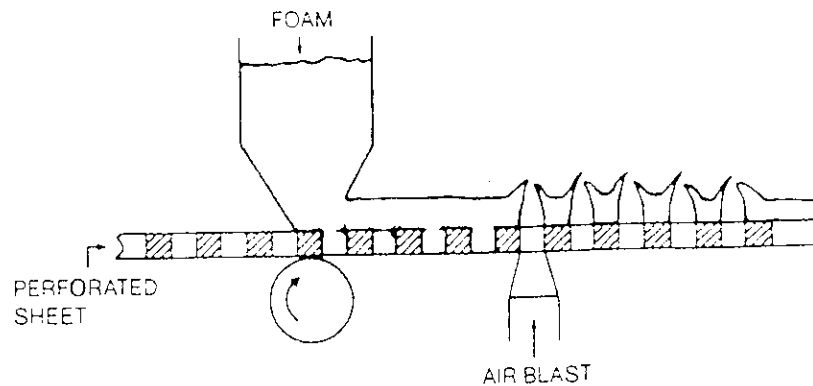


Figura 16: Secadores por aspersión.

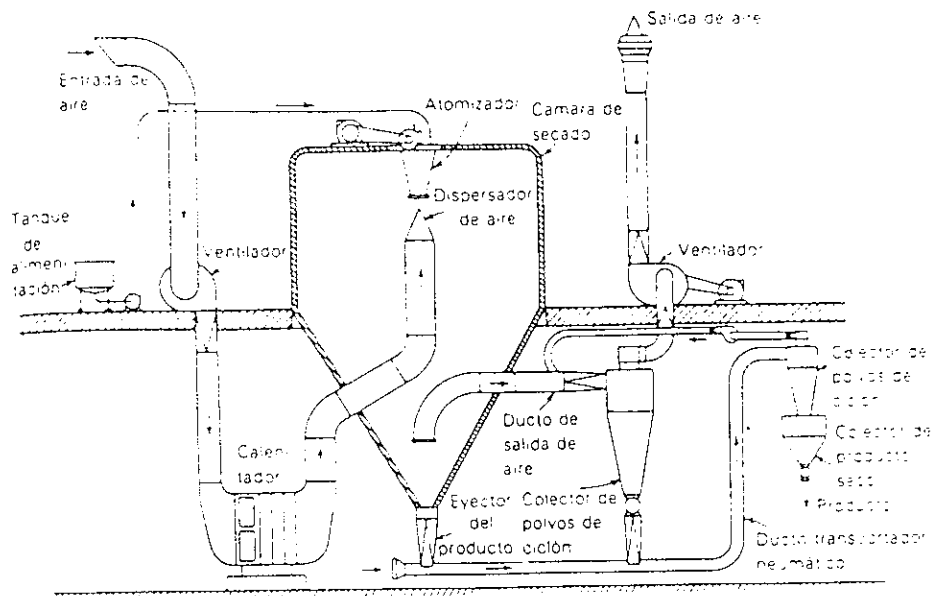
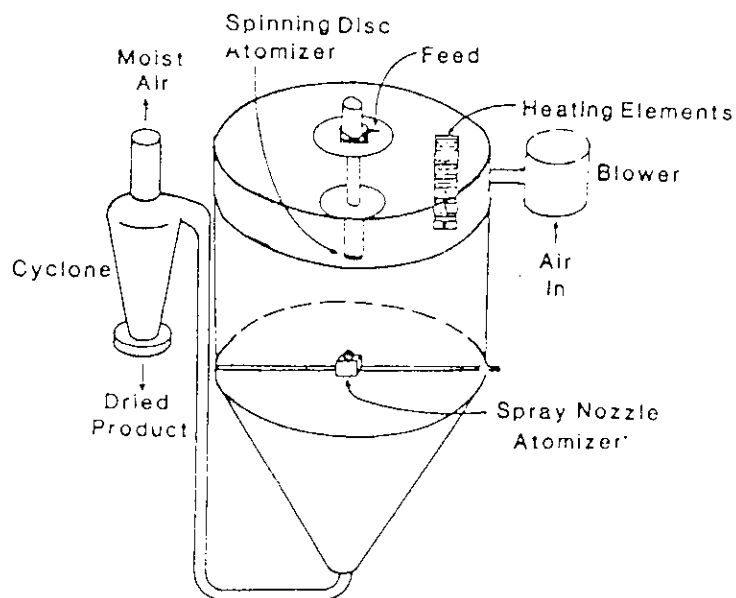
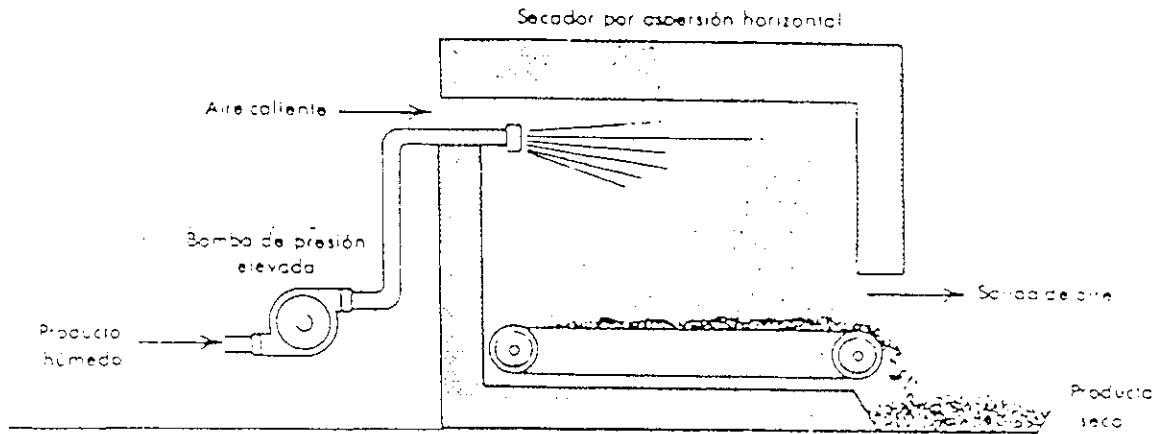


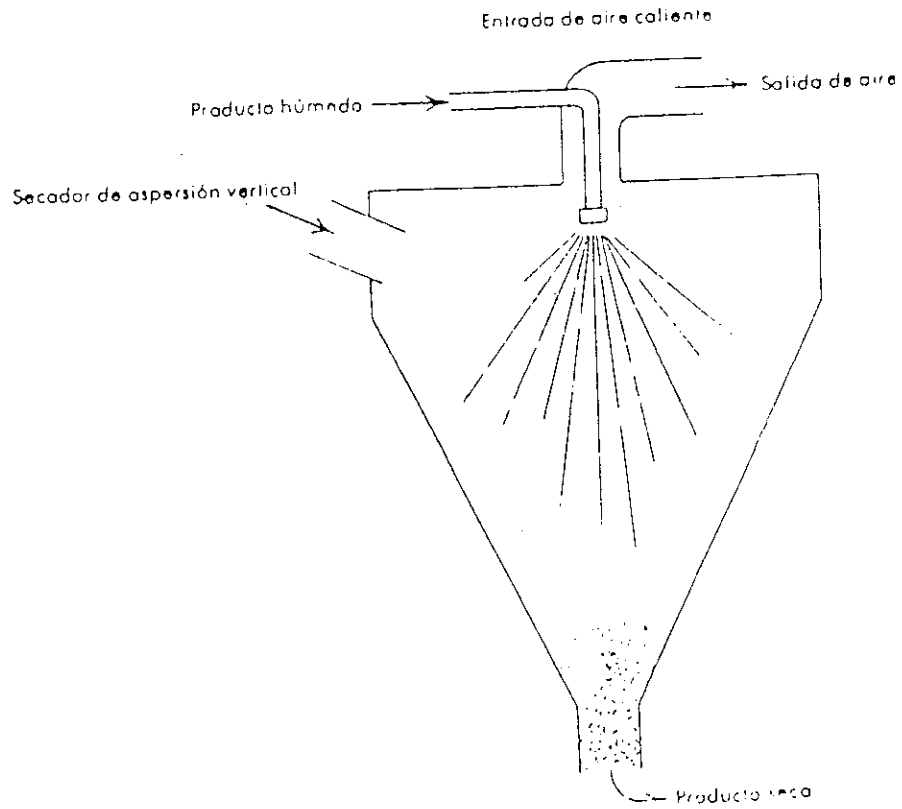
Diagrama esquemático de un secador por aspersión.



### Secador por aspersión horizontal.



### Secador por aspersión vertical.



# APÉNDICE B

Muestra de la Boleta de Evaluación Sensorial utilizada.

Nombre: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Pruebe las dos muestras de refresco de fruta que tiene enfrente, tomando agua entre cada una. Marque con una X la categoría más apropiada.

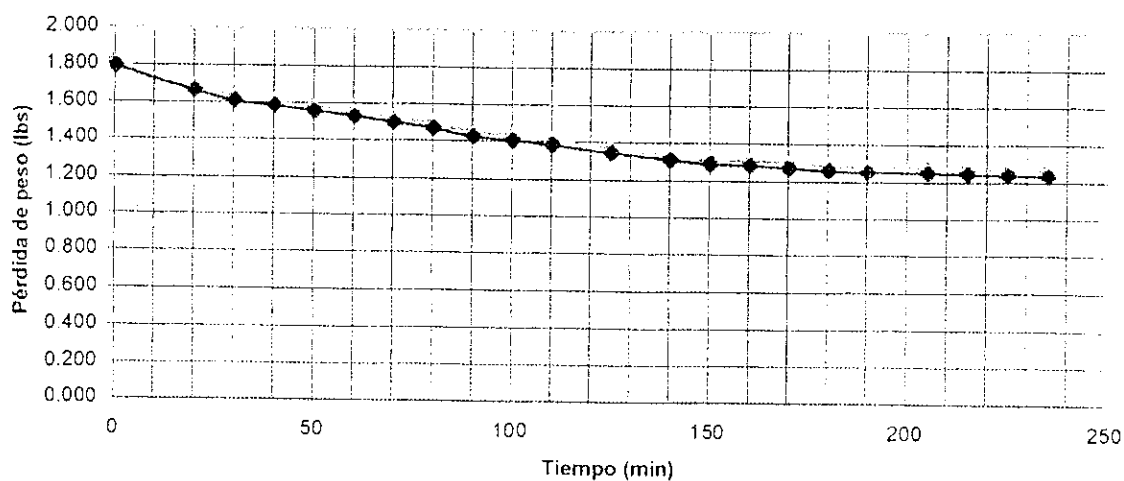
	222	454
Me gusta	_____	_____
Me es indiferente	_____	_____
No me gusta	_____	_____

# APÉNDICE C

## Curva de Deshidratación de Fresa a 80°C

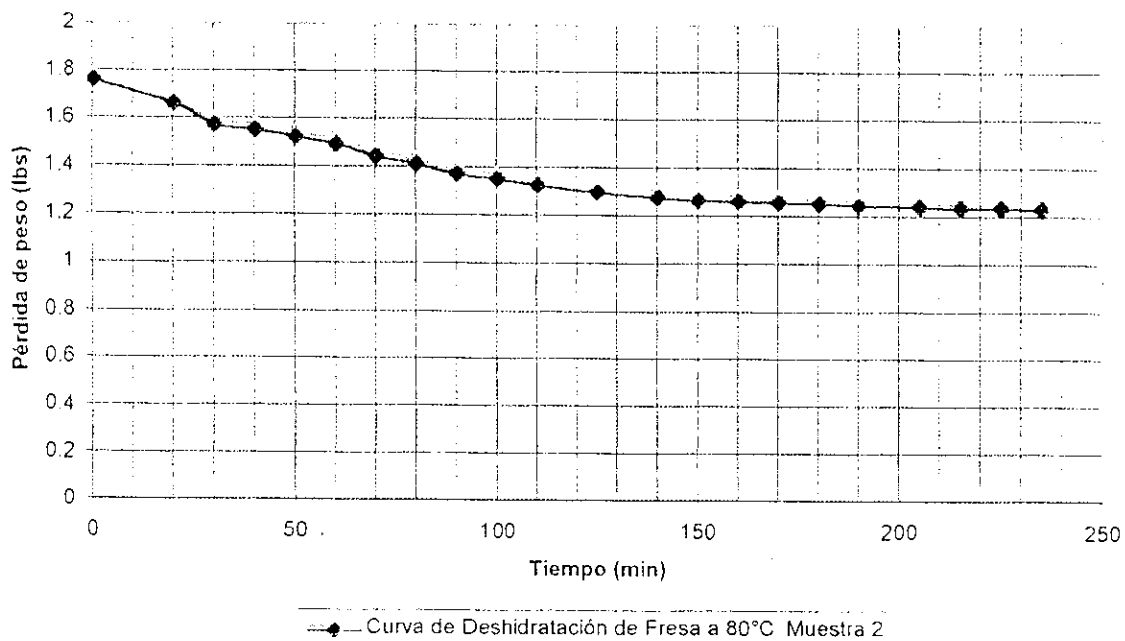
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	1.820	1.780	1.710	1.910
20	1.690	1.680	1.630	1.820
30	1.635	1.590	1.580	1.750
40	1.610	1.570	1.565	1.730
50	1.580	1.540	1.540	1.695
60	1.555	1.510	1.520	1.655
70	1.525	1.460	1.480	1.625
80	1.495	1.430	1.455	1.585
90	1.450	1.390	1.425	1.540
100	1.430	1.370	1.405	1.510
110	1.410	1.345	1.385	1.475
125	1.370	1.315	1.355	1.425
140	1.335	1.295	1.335	1.380
150	1.315	1.285	1.315	1.360
160	1.310	1.280	1.305	1.360
170	1.295	1.275	1.295	1.340
180	1.285	1.270	1.290	1.320
190	1.280	1.265	1.280	1.305
205	1.275	1.260	1.270	1.295
215	1.270	1.255	1.260	1.285
225	1.265	1.255	1.260	1.280
235	1.260	1.250	1.255	1.275

### Curva de Deshidratación de Fresa a 80°C Muestra 1

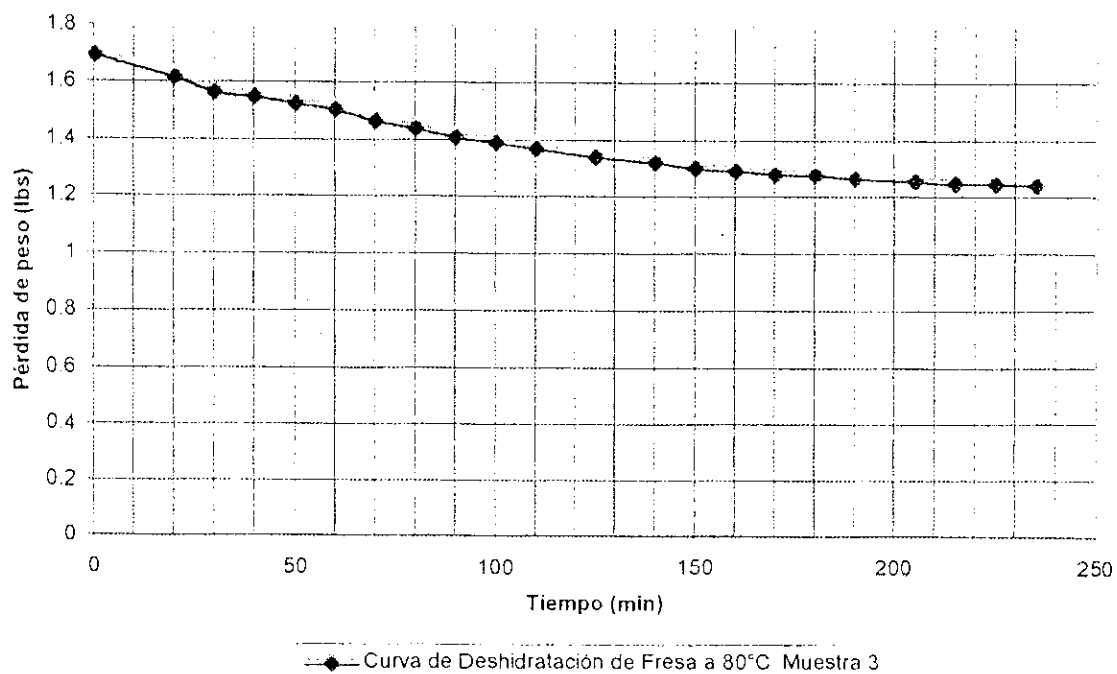


—●— Curva de Deshidratación de Fresa a 80°C Muestra 1

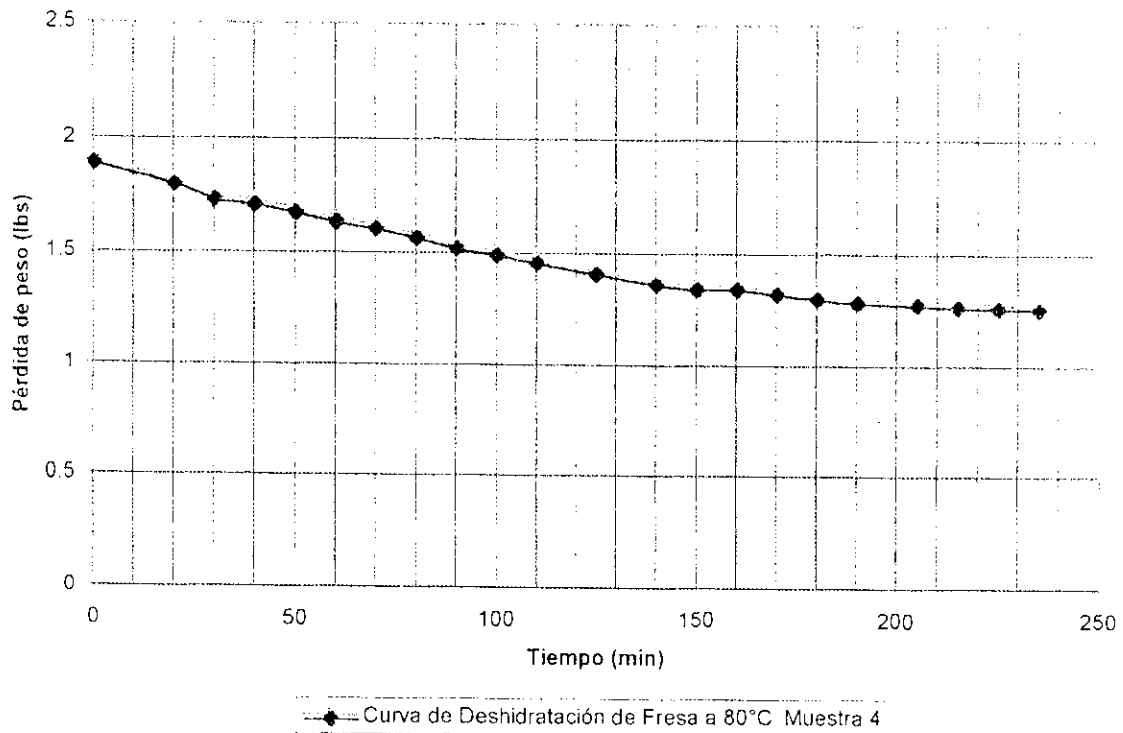
Curva de Deshidratación de Fresa a 80°C Muestra 2



Curva de Deshidratación de Fresa a 80°C Muestra 3



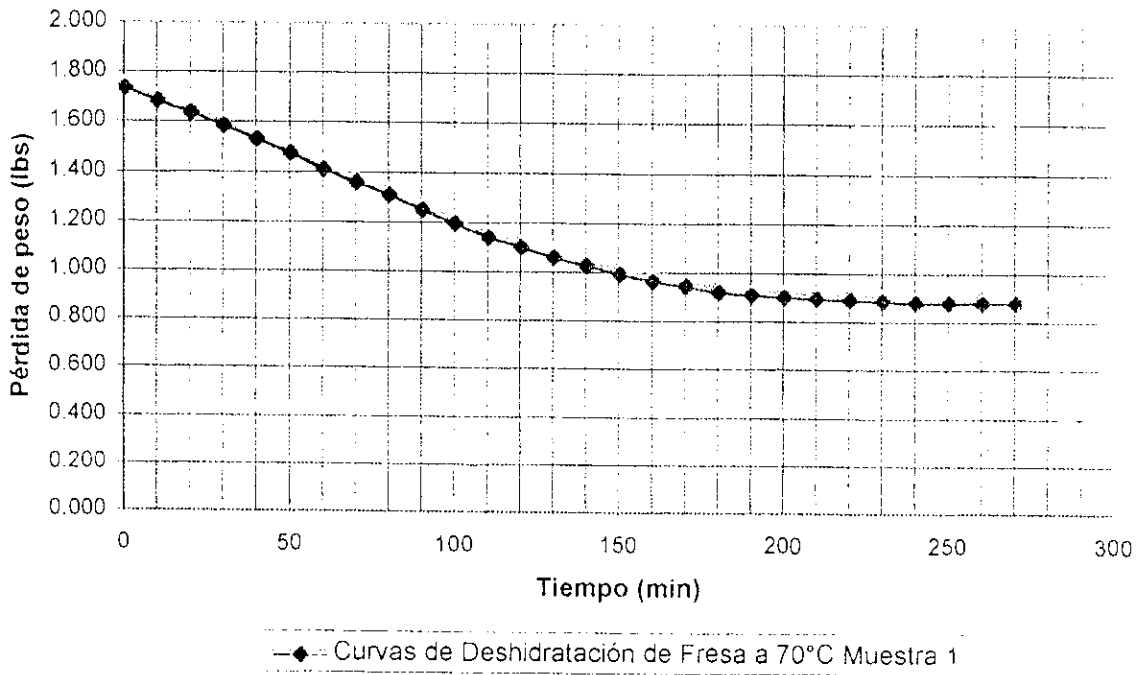
### Curva de Deshidratación de Fresa a 80°C Muestra 4



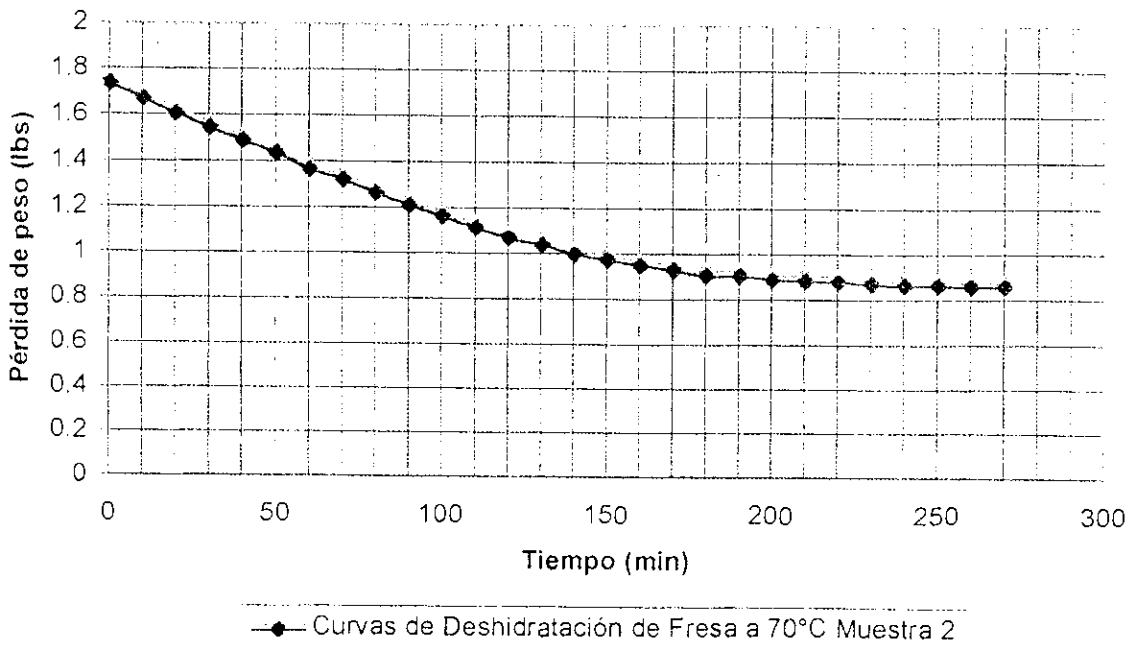
## Curvas de Deshidratación de Fresa a 70°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	1.755	1.755	1.755	1.760
10	1.705	1.690	1.695	1.700
20	1.655	1.625	1.640	1.650
30	1.605	1.565	1.585	1.600
40	1.550	1.510	1.540	1.550
50	1.495	1.455	1.495	1.510
60	1.430	1.385	1.440	1.460
70	1.380	1.340	1.400	1.420
80	1.330	1.285	1.350	1.370
90	1.270	1.230	1.305	1.320
100	1.215	1.185	1.265	1.280
110	1.160	1.135	1.220	1.235
120	1.120	1.090	1.180	1.195
130	1.080	1.060	1.140	1.155
140	1.045	1.020	1.105	1.120
150	1.010	0.995	1.070	1.090
160	0.985	0.970	1.040	1.050
170	0.965	0.950	1.015	1.025
180	0.940	0.925	0.980	0.990
190	0.930	0.925	0.960	0.970
200	0.920	0.910	0.945	0.950
210	0.915	0.905	0.930	0.935
220	0.910	0.900	0.920	0.920
230	0.905	0.890	0.905	0.910
240	0.900	0.885	0.900	0.905
250	0.900	0.885	0.895	0.895
260	0.900	0.880	0.890	0.890
270	0.900	0.880	0.890	0.890

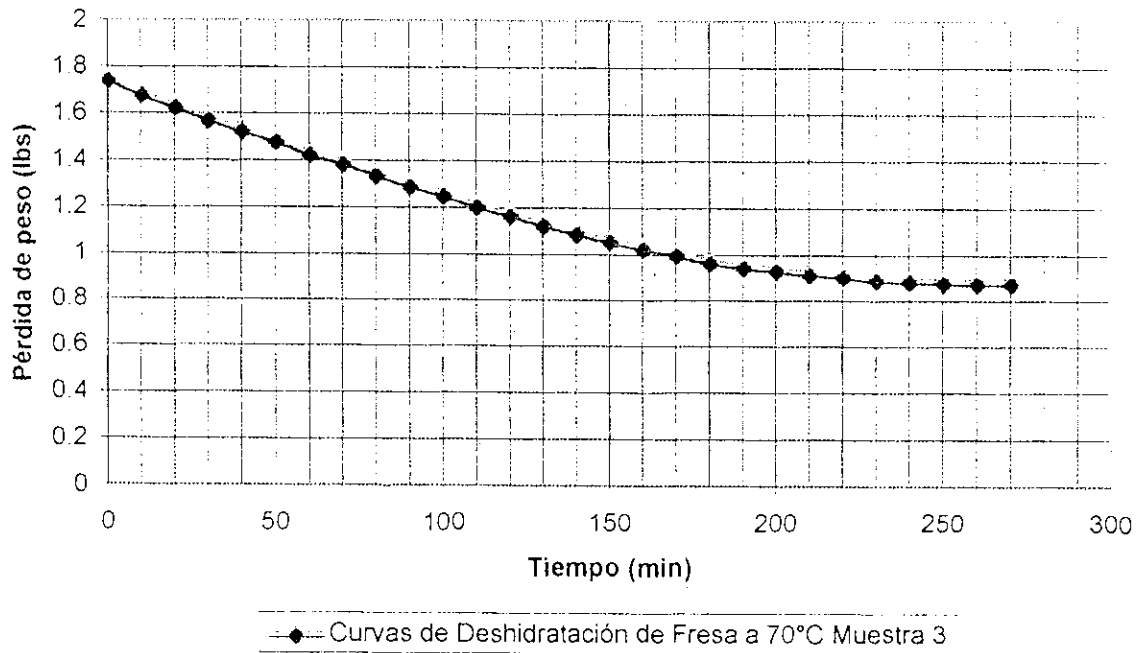
### Curvas de Deshidratación de Fresa a 70°C Muestra 1



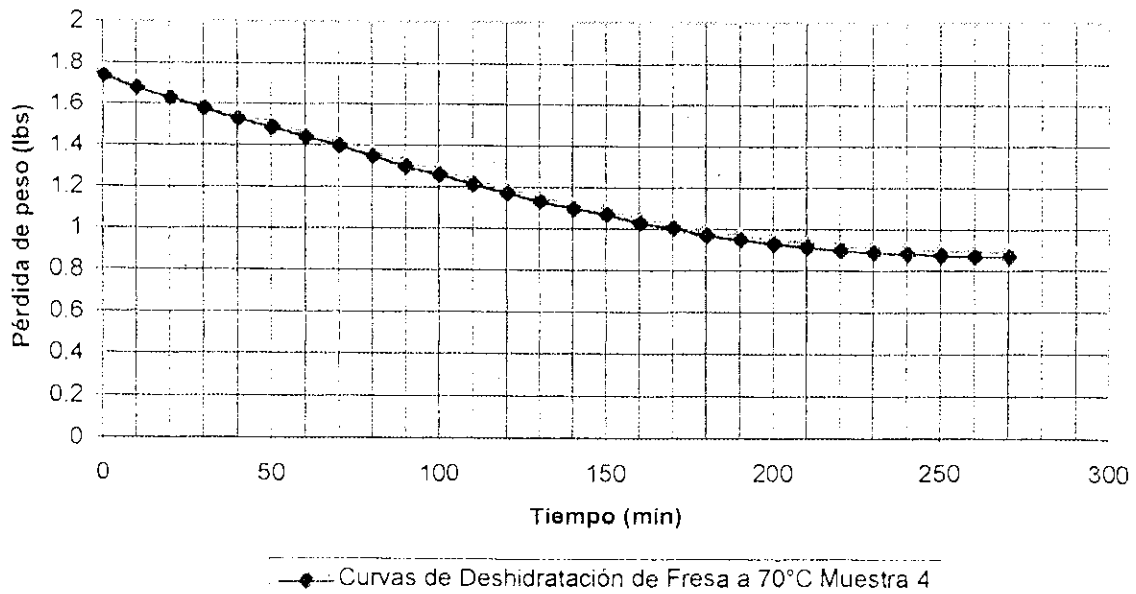
### Curvas de Deshidratación de Fresa a 70°C Muestra 2



### Curvas de Deshidratación de Fresa a 70°C Muestra 3



### Curvas de Deshidratación de Fresa a 70°C Muestra 4

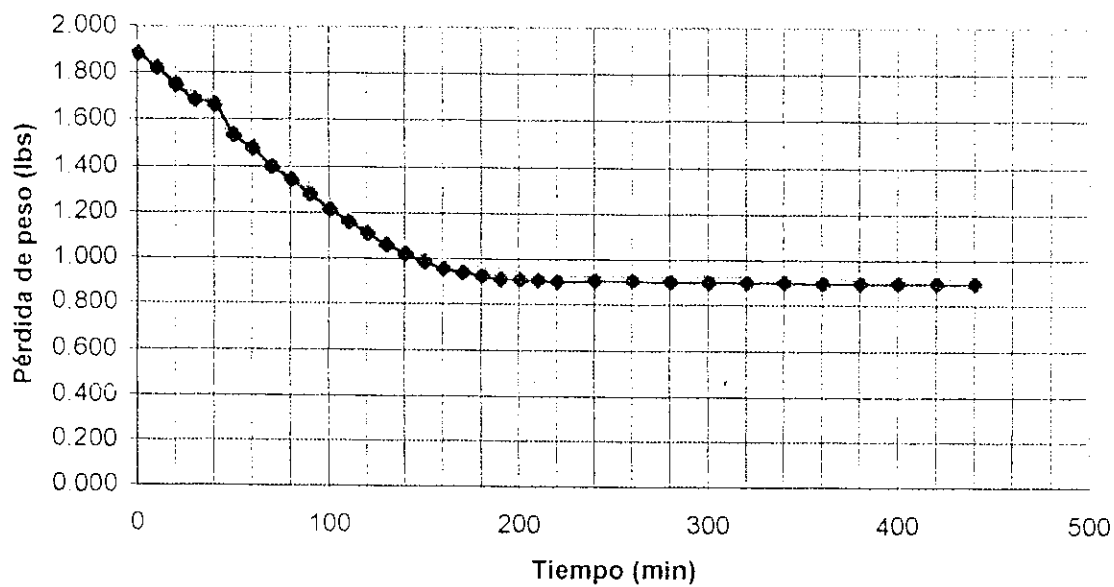


## Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)			
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4
0	1.900	1.905	1.910	1.910
10	1.840	1.845	1.840	1.835
20	1.770	1.775	1.785	1.775
30	1.705	1.715	1.725	1.720
40	1.685	1.645	1.660	1.650
50	1.555	1.585	1.610	1.595
60	1.500	1.530	1.535	1.540
70	1.420	1.460	1.480	1.460
80	1.365	1.405	1.415	1.410
90	1.300	1.340	1.350	1.350
100	1.235	1.280	1.285	1.275
110	1.180	1.230	1.235	1.225
120	1.130	1.180	1.185	1.170
130	1.080	1.135	1.125	1.110
140	1.040	1.090	1.085	1.055
150	1.005	1.050	1.040	1.020
160	0.975	1.001	1.001	0.970
170	0.960	0.990	0.980	0.940
180	0.945	0.955	0.950	0.920
190	0.930	0.925	0.915	0.900
200	0.930	0.920	0.915	0.900
210	0.925	0.910	0.905	0.895
220	0.920	0.905	0.900	0.895
240	0.925	0.900	0.895	0.890
260	0.925	0.900	0.895	0.890
280	0.920	0.900	0.895	0.890
300	0.920	0.895	0.895	0.890
320	0.920	0.895	0.895	0.890
340	0.920	0.895	0.895	0.890
360	0.915	0.890	0.895	0.890
380	0.915	0.890	0.895	0.890
400	0.915	0.890	0.895	0.890
420	0.915	0.890	0.895	0.890
440	0.915	0.890	0.895	0.890

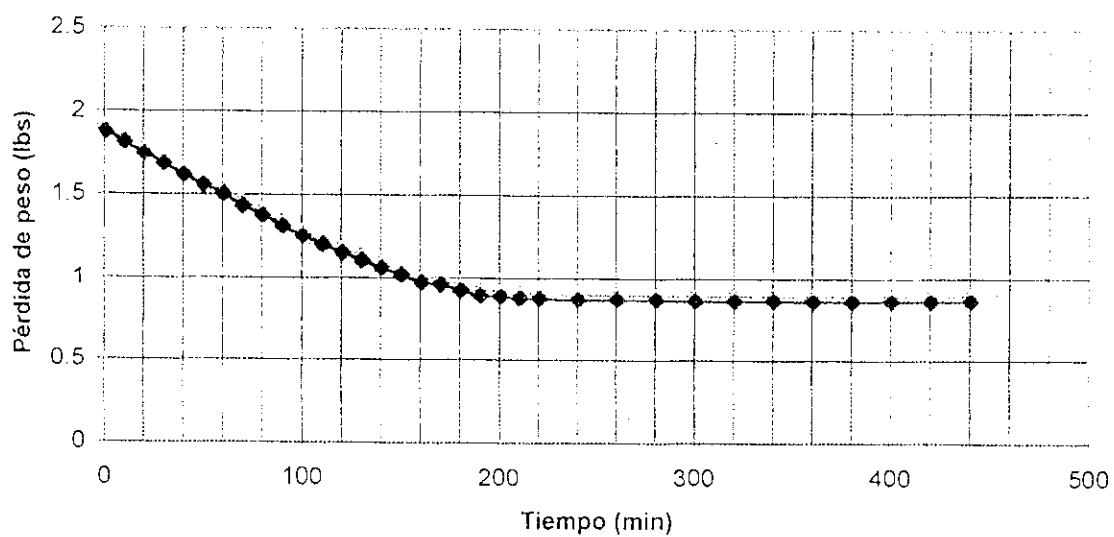
### Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C Muestra

1



—●— Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C Muestra 1

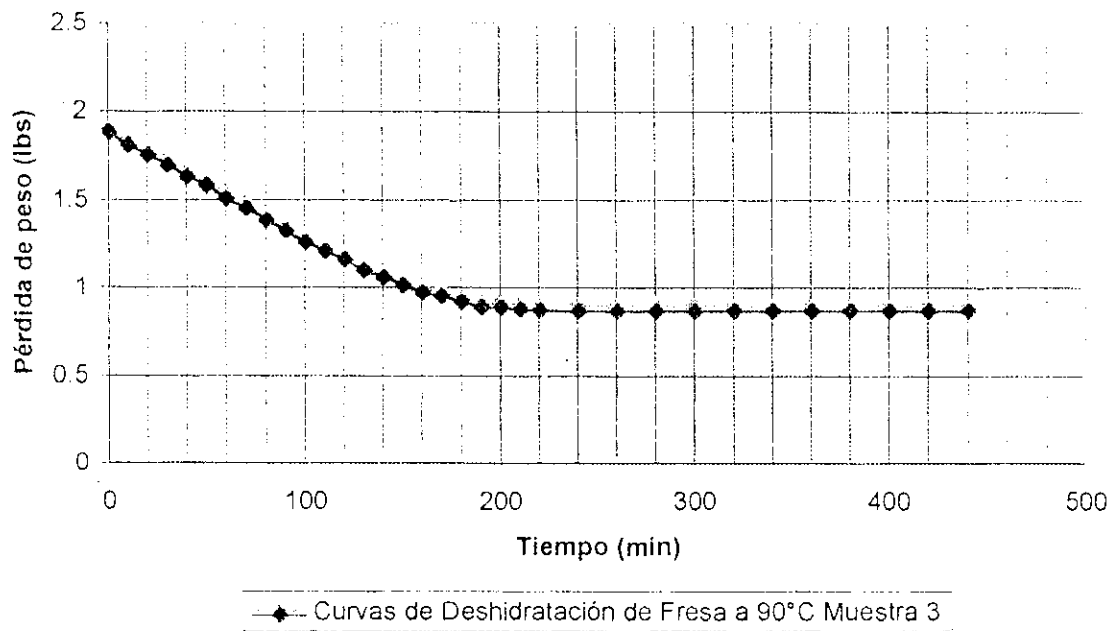
### Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C Muestra 2



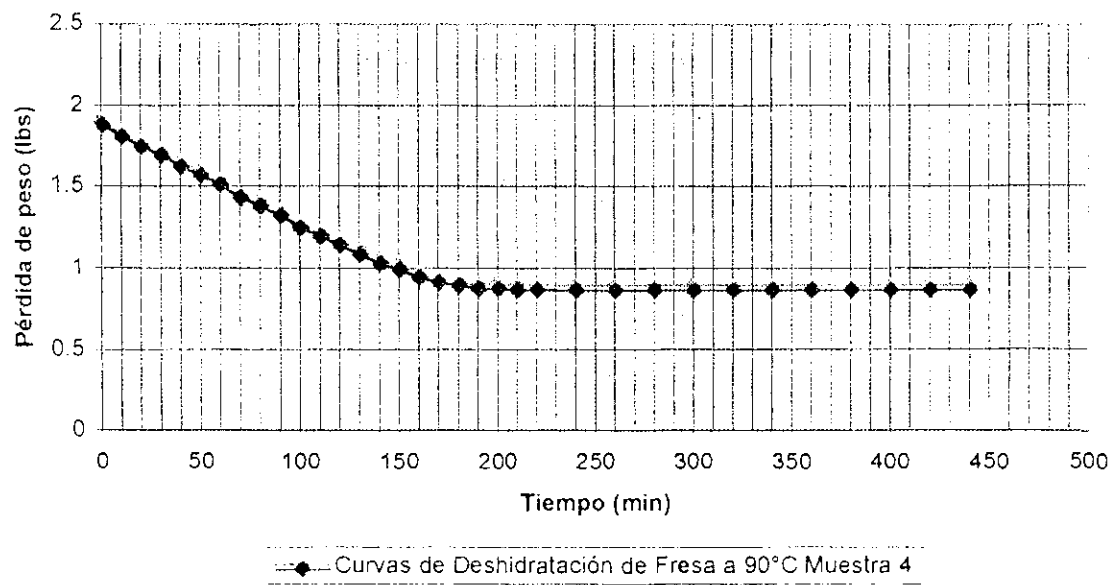
—●— Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C Muestra 2

### Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C Muestra 3

3



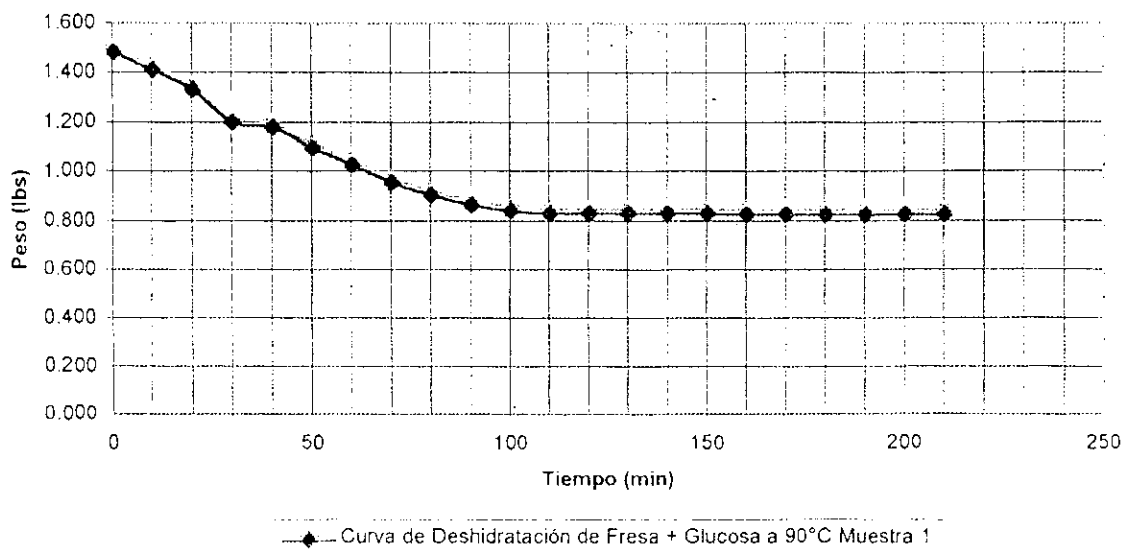
### Curvas de Deshidratación de Fresa a 90°C Muestra 4



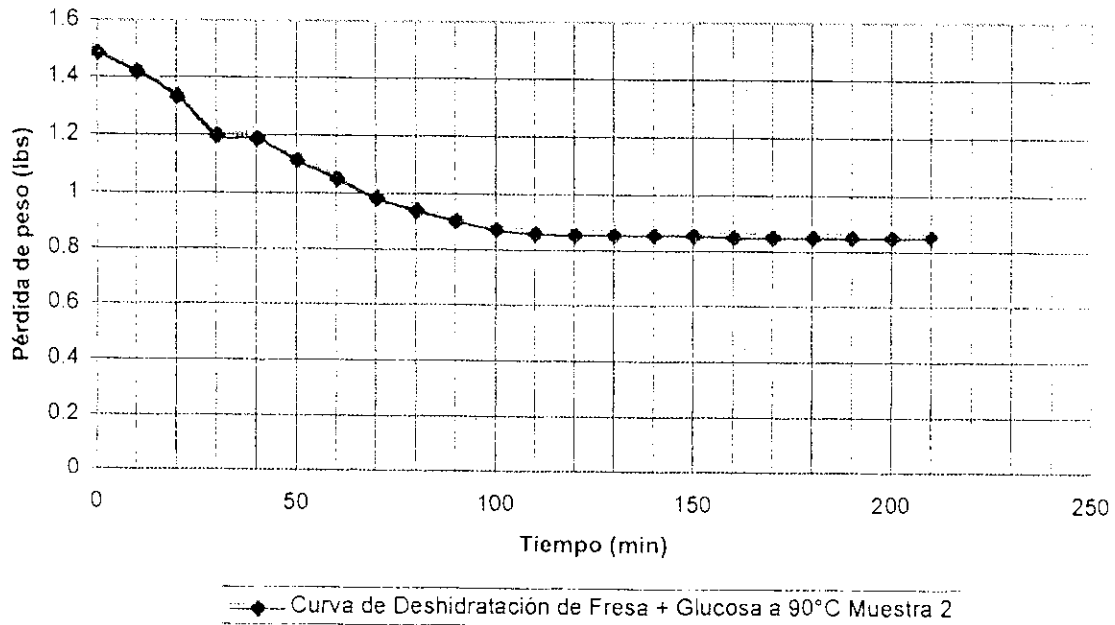
## Curva de Deshidratación de Fresa + Glucosa a 90°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)		
	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
0	1.500	1.500	1.500
10	1.430	1.435	1.420
20	1.350	1.350	1.340
30	1.220	1.215	1.210
40	1.200	1.205	1.190
50	1.115	1.130	1.110
60	1.045	1.065	1.035
70	0.975	1.000	0.970
80	0.925	0.955	0.920
90	0.885	0.920	0.880
100	0.860	0.890	0.865
110	0.850	0.875	0.860
120	0.850	0.870	0.860
130	0.850	0.870	0.860
140	0.850	0.870	0.860
150	0.850	0.870	0.860
160	0.845	0.865	0.855
170	0.845	0.865	0.855
180	0.845	0.865	0.855
190	0.845	0.865	0.855
200	0.845	0.865	0.855
210	0.845	0.865	0.855

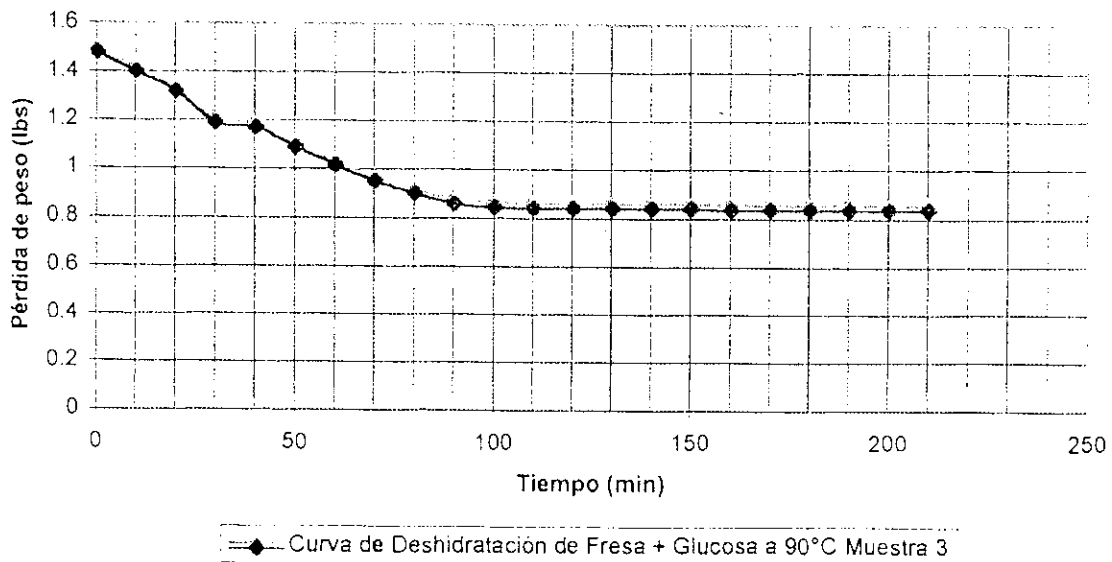
Curva de Deshidratación de Fresa + Glucosa a 90°C Muestra 1



Curva de Deshidratación de Fresa + Glucosa a 90°C  
Muestra 2



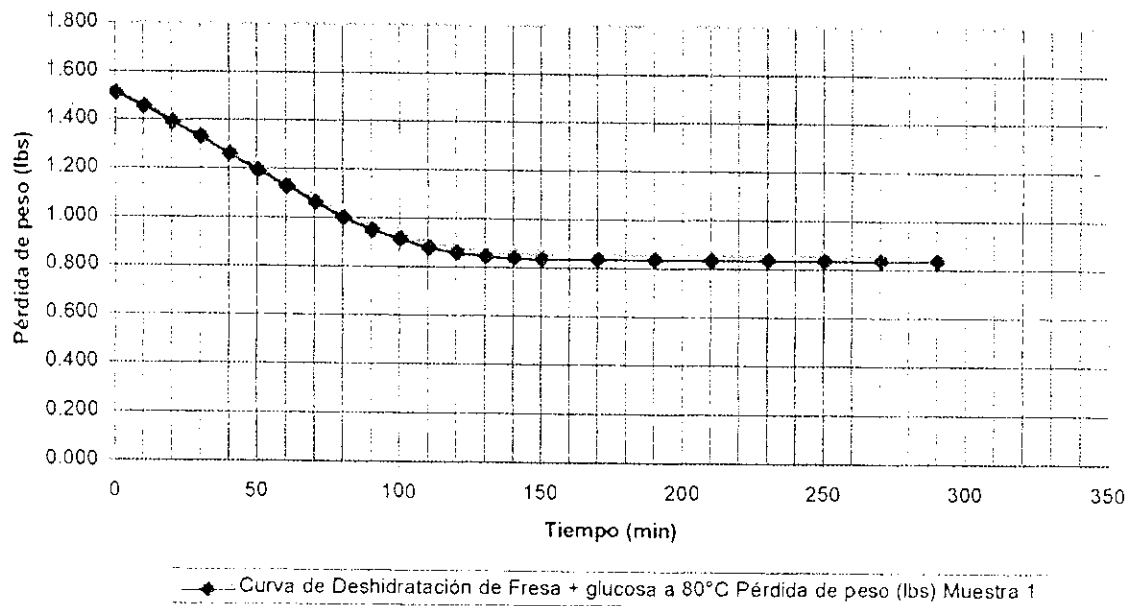
Curva de Deshidratación de Fresa + Glucosa a 90°C  
Muestra 3



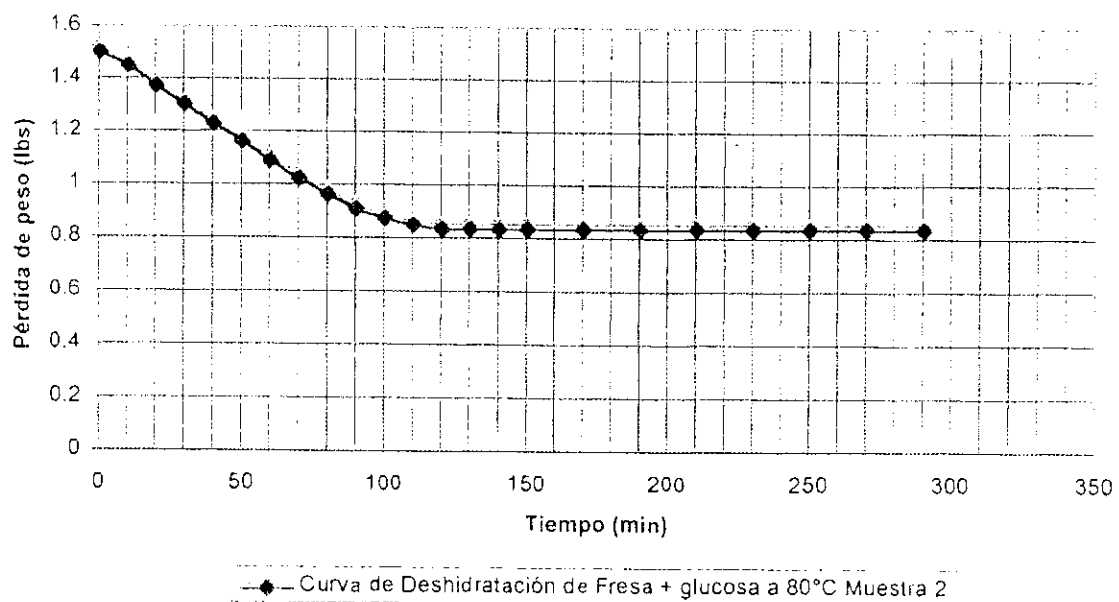
## Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 80°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.530	1.515
10	1.475	1.465
20	1.410	1.390
30	1.350	1.320
40	1.280	1.245
50	1.215	1.180
60	1.150	1.105
70	1.085	1.040
80	1.020	0.980
90	0.970	0.925
100	0.935	0.890
110	0.900	0.865
120	0.880	0.850
130	0.865	0.850
140	0.860	0.850
150	0.855	0.850
170	0.855	0.850
190	0.855	0.850
210	0.855	0.850
230	0.855	0.850
250	0.855	0.850
270	0.855	0.850
290	0.855	0.850

Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 80°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



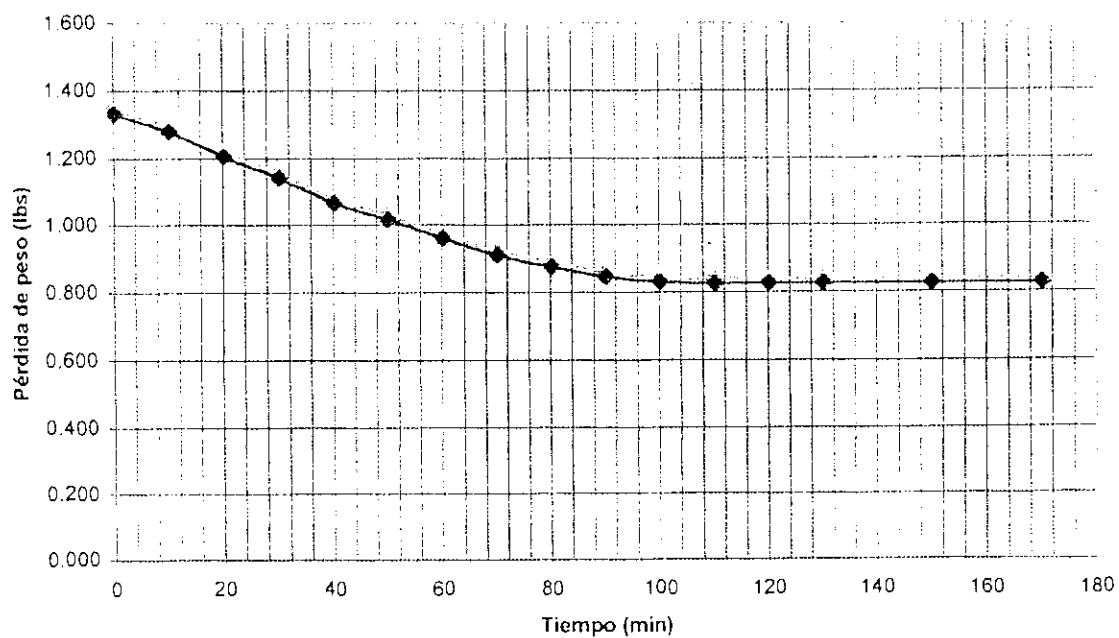
Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 80°C Muestra 2



## Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 80°C

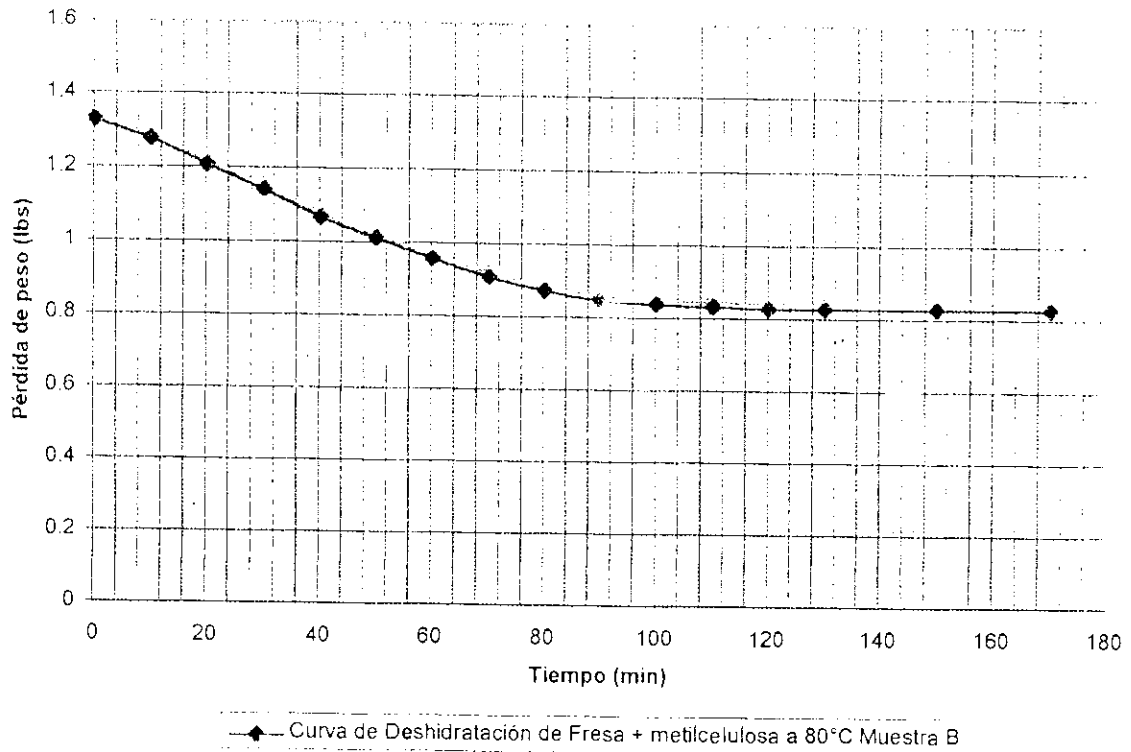
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra A	Muestra B
0	1.345	1.340
10	1.295	1.290
20	1.220	1.220
30	1.155	1.155
40	1.080	1.080
50	1.030	1.025
60	0.975	0.970
70	0.925	0.920
80	0.890	0.885
90	0.860	0.860
100	0.845	0.850
110	0.840	0.845
120	0.840	0.840
130	0.840	0.840
150	0.840	0.840
170	0.840	0.840

Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 80°C Pérdida de peso (lbs) Muestra A



—●— Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 80°C Pérdida de peso (lbs) Muestra A

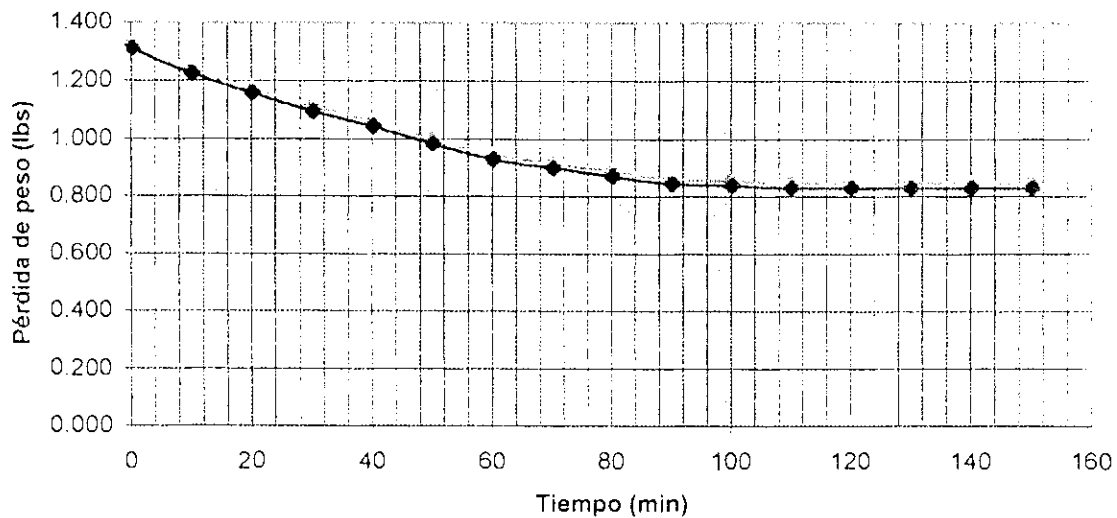
Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 80°C Muestra B



## Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 90°C

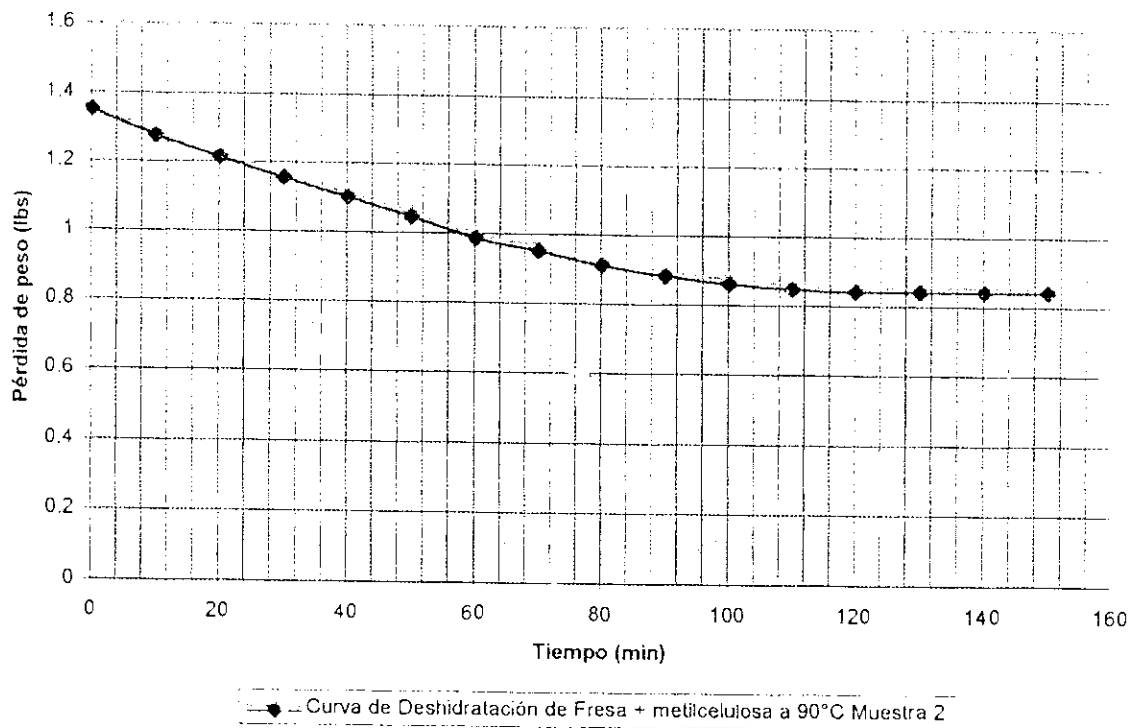
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.325	1.365
10	1.240	1.290
20	1.175	1.230
30	1.110	1.170
40	1.060	1.115
50	1.000	1.060
60	0.945	1.000
70	0.915	0.965
80	0.885	0.925
90	0.860	0.895
100	0.855	0.875
110	0.845	0.860
120	0.845	0.855
130	0.845	0.855
140	0.845	0.855
150	0.845	0.855

### Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 90°C Muestra 1



—●— Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 90°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1

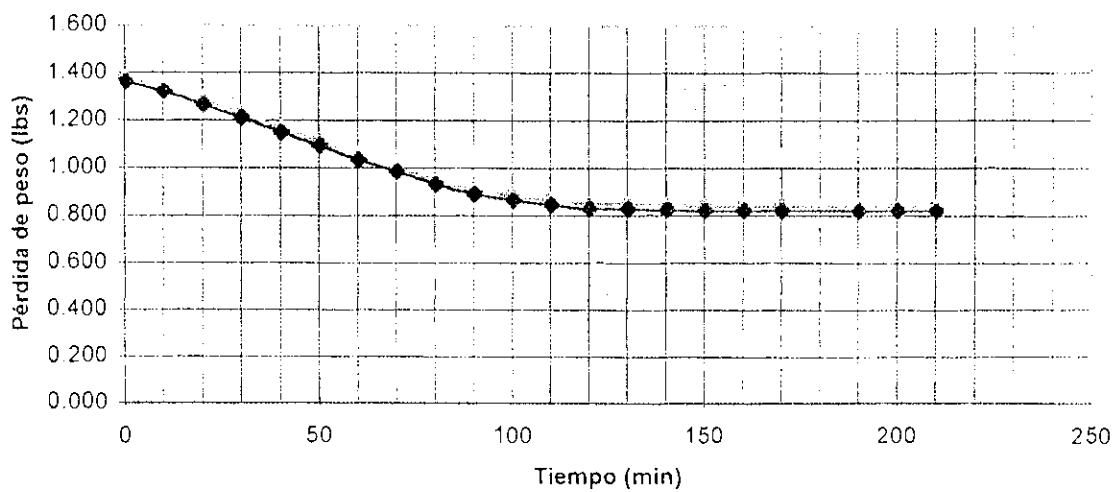
Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 90°C  
Muestra 2



### Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 70°C

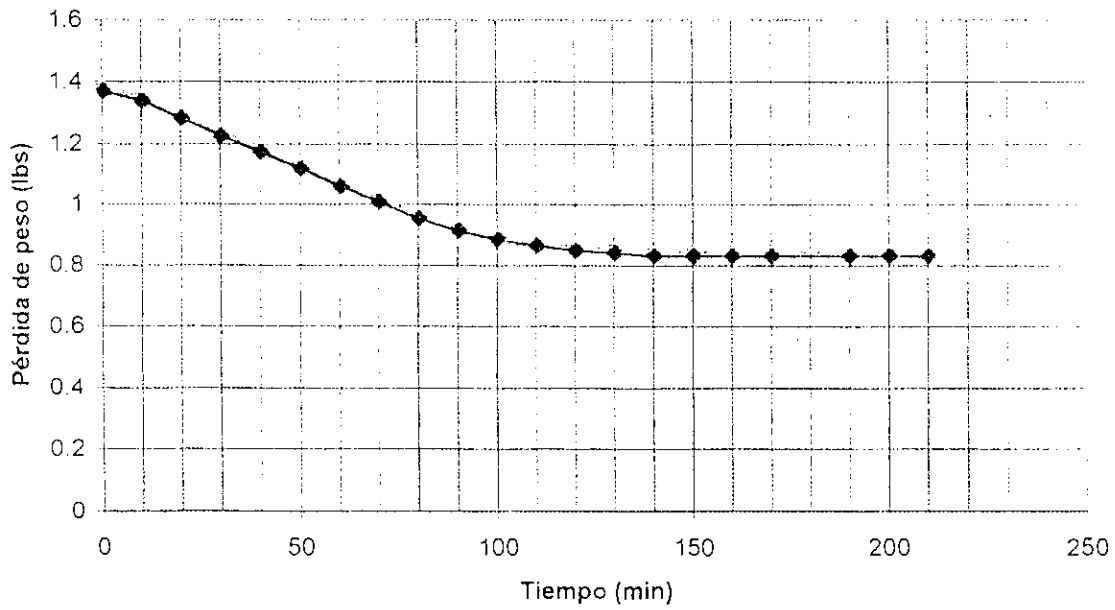
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.380	1.385
10	1.340	1.355
20	1.285	1.300
30	1.230	1.240
40	1.170	1.190
50	1.115	1.135
60	1.055	1.075
70	1.005	1.025
80	0.950	0.970
90	0.910	0.930
100	0.885	0.900
110	0.865	0.880
120	0.850	0.865
130	0.850	0.855
140	0.845	0.845
150	0.840	0.845
160	0.840	0.845
170	0.840	0.845
190	0.840	0.845
200	0.840	0.845
210	0.840	0.845

Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



● Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1

Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 70°C  
Muestra 2

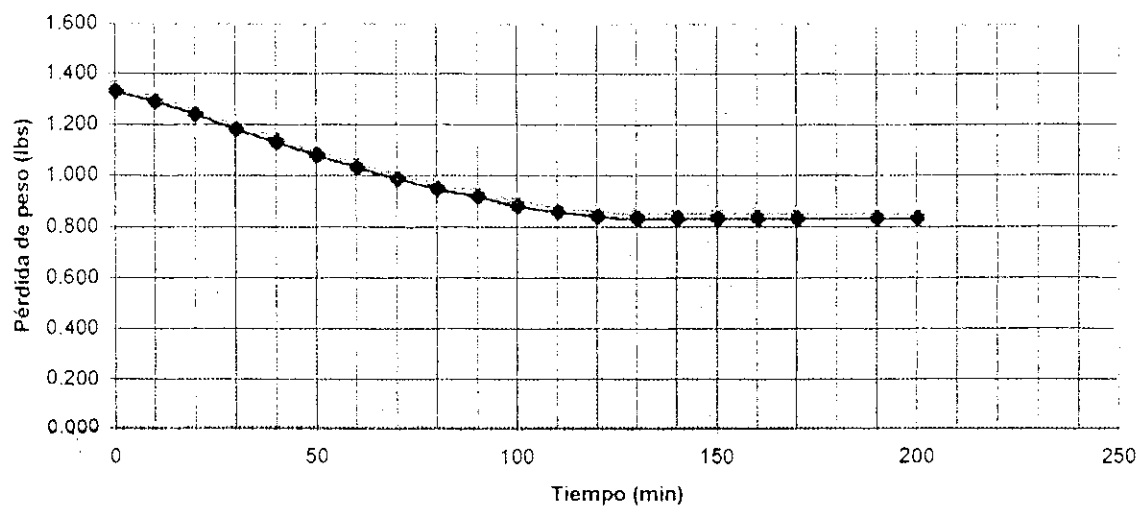


—●— Curva de Deshidratación de Fresa + glucosa a 70°C Muestra 2

## Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 70°C

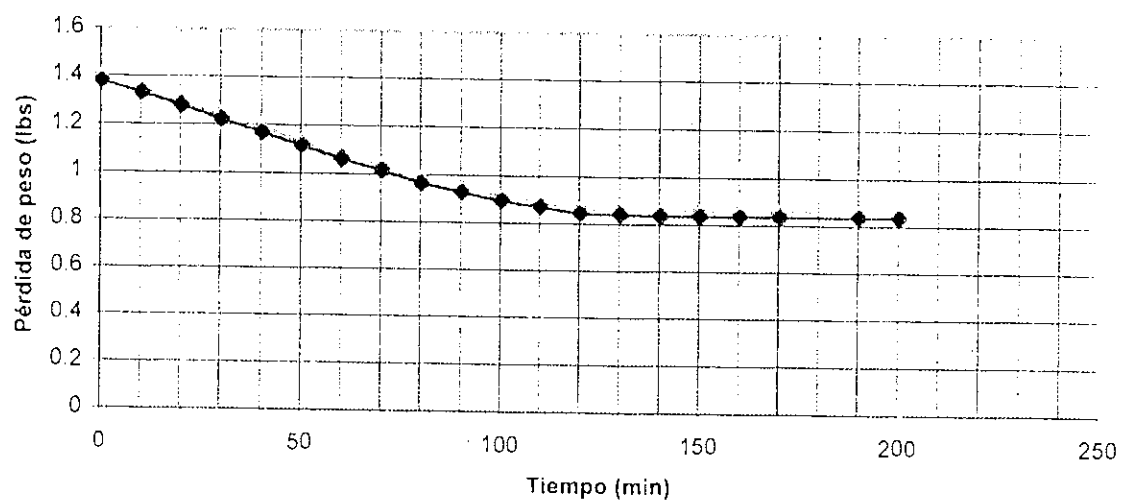
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.350	1.400
10	1.310	1.355
20	1.260	1.300
30	1.200	1.245
40	1.150	1.190
50	1.100	1.135
60	1.050	1.080
70	1.005	1.035
80	0.965	0.985
90	0.935	0.950
100	0.900	0.915
110	0.875	0.890
120	0.860	0.865
130	0.850	0.860
140	0.850	0.855
150	0.850	0.855
160	0.850	0.855
170	0.850	0.855
190	0.850	0.855
200	0.850	0.855

Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



—●— Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1

Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 70°C Muestra 2

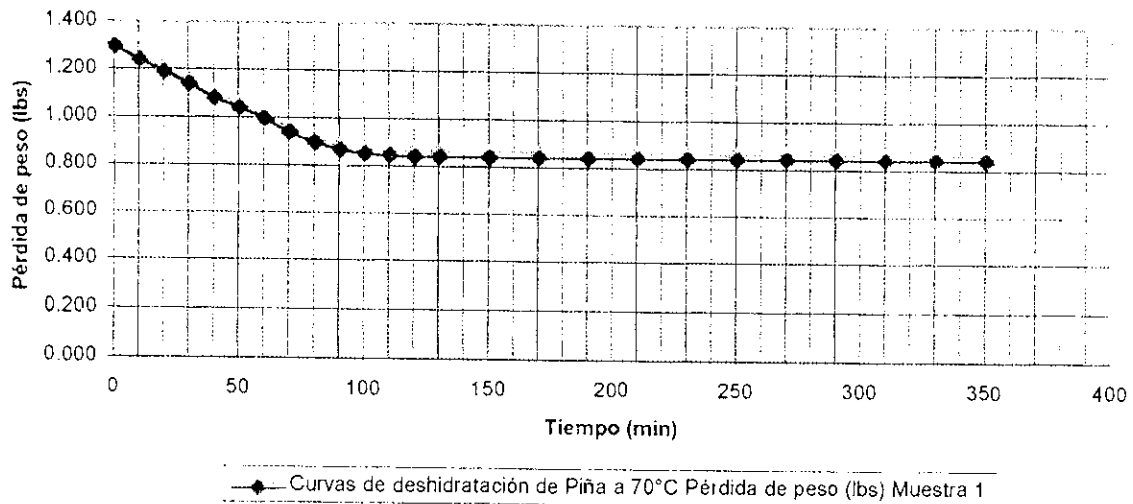


—●— Curva de Deshidratación de Fresa + metilcelulosa a 70°C Muestra 2

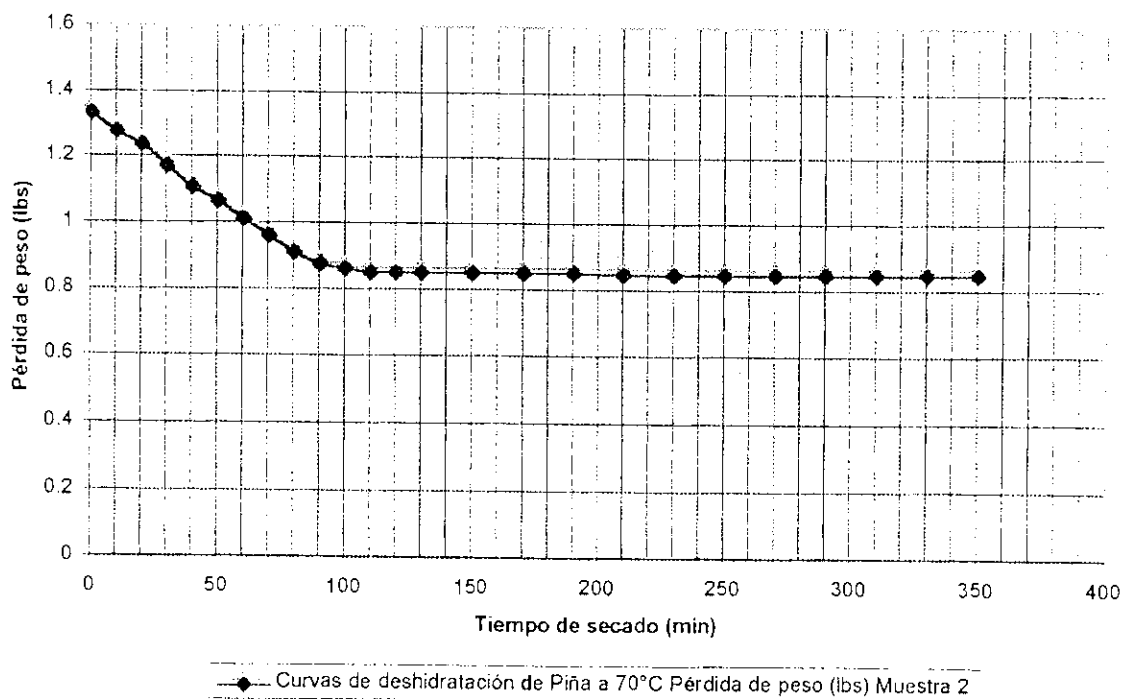
## Curvas de deshidratación de Piña a 70°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.315	1.345
10	1.260	1.290
20	1.210	1.250
30	1.160	1.185
40	1.100	1.120
50	1.060	1.080
60	1.015	1.025
70	0.960	0.975
80	0.915	0.925
90	0.885	0.890
100	0.870	0.875
110	0.865	0.865
120	0.860	0.865
130	0.860	0.865
150	0.860	0.865
170	0.860	0.865
190	0.860	0.865
210	0.860	0.860
230	0.860	0.860
250	0.860	0.860
270	0.860	0.860
290	0.860	0.860
310	0.860	0.860
330	0.860	0.860
350	0.860	0.860

Curvas de deshidratación de Piña a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



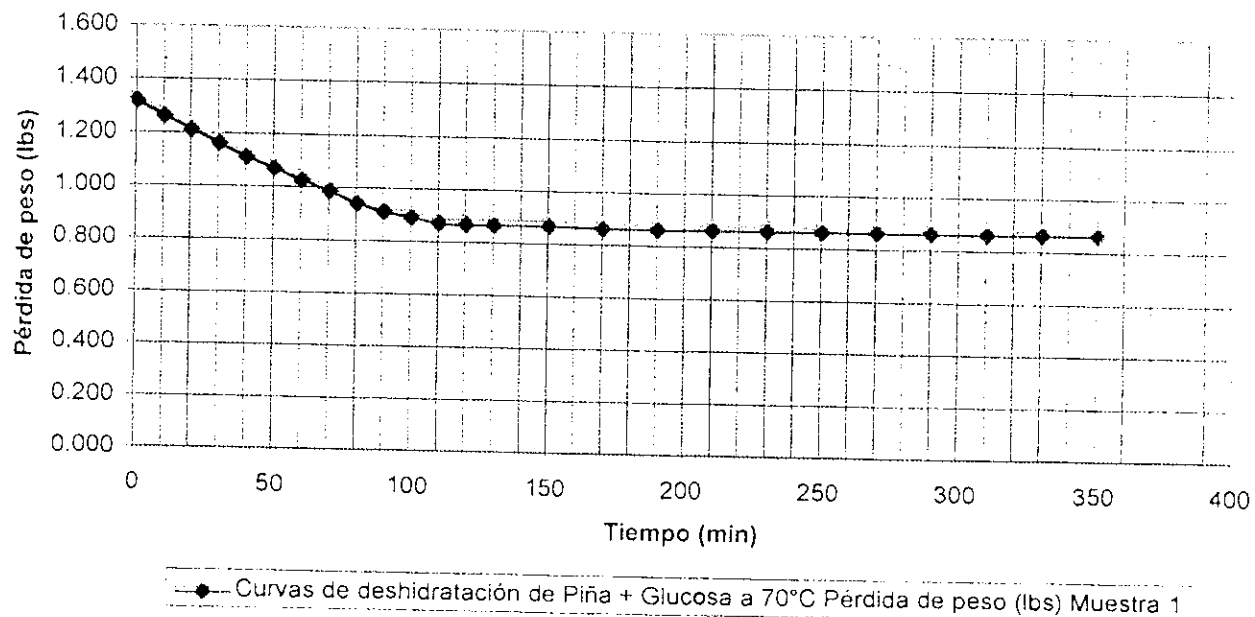
Curvas de deshidratación de Piña a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 2



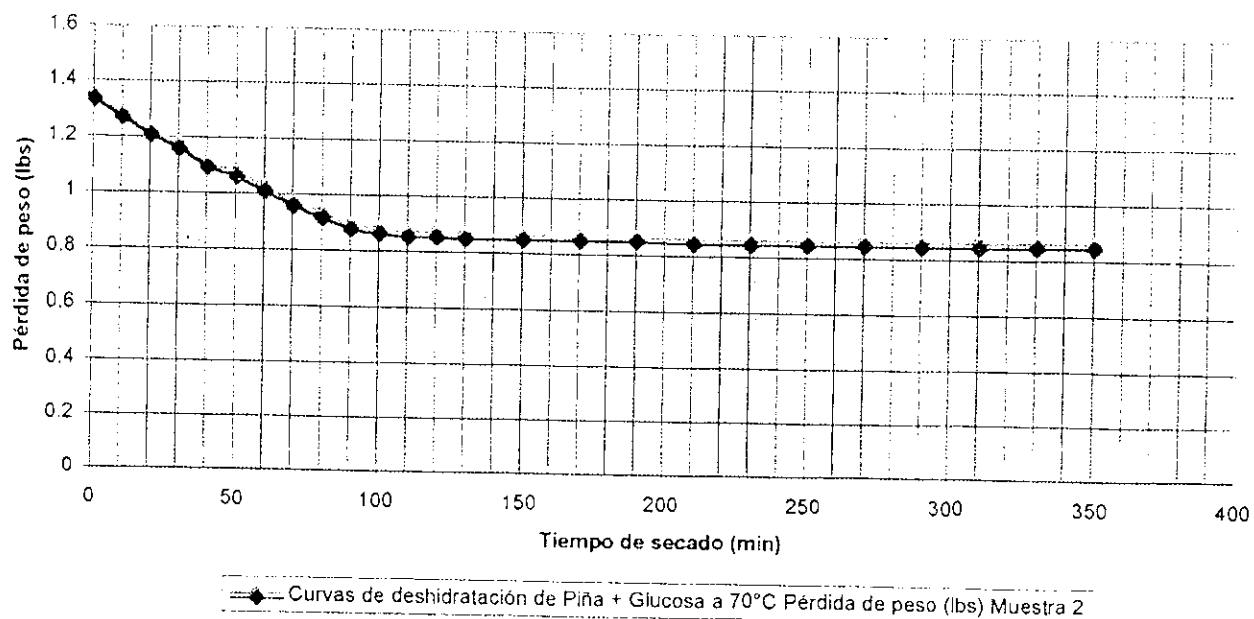
## Curvas de deshidratación de Piña + Glucosa a 70°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.335	1.350
10	1.280	1.285
20	1.230	1.225
30	1.180	1.175
40	1.130	1.110
50	1.090	1.075
60	1.045	1.025
70	1.005	0.975
80	0.960	0.935
90	0.930	0.895
100	0.910	0.880
110	0.890	0.870
120	0.885	0.870
130	0.885	0.865
150	0.885	0.865
170	0.880	0.865
190	0.880	0.865
210	0.880	0.860
230	0.880	0.860
250	0.880	0.860
270	0.880	0.860
290	0.880	0.860
310	0.880	0.860
330	0.880	0.860
350	0.880	0.860

### Curvas de deshidratación de Piña + Glucosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



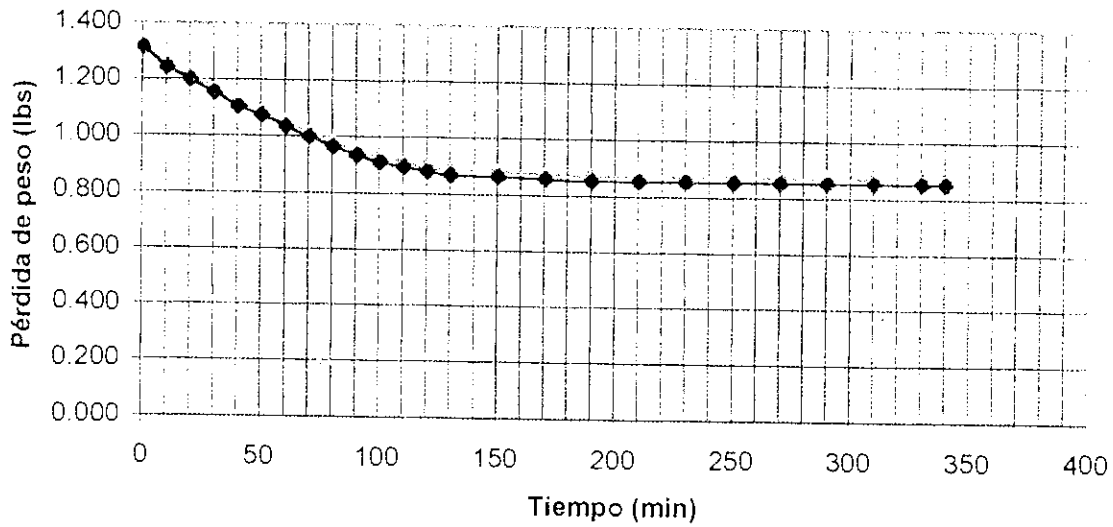
### Curvas de deshidratación de Piña + Glucosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 2



## Curvas de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 70°C

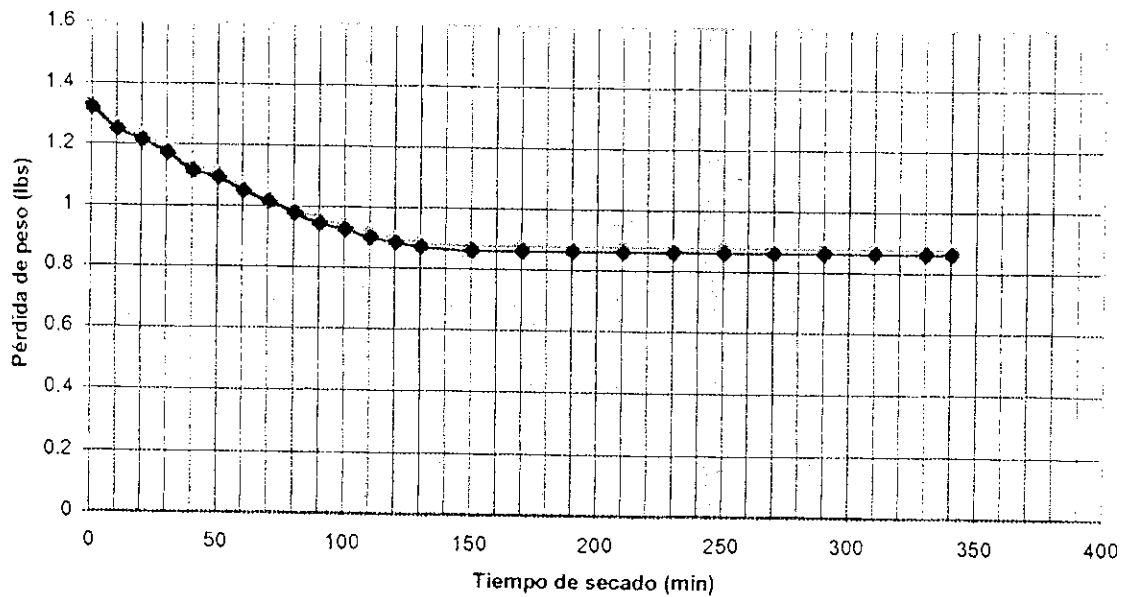
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.330	1.335
10	1.260	1.265
20	1.215	1.230
30	1.170	1.190
40	1.120	1.130
50	1.090	1.110
60	1.050	1.065
70	1.015	1.030
80	0.980	0.995
90	0.950	0.960
100	0.925	0.940
110	0.910	0.915
120	0.895	0.900
130	0.885	0.885
150	0.880	0.875
170	0.875	0.875
190	0.870	0.875
210	0.870	0.875
230	0.870	0.875
250	0.870	0.875
270	0.870	0.875
290	0.870	0.875
310	0.870	0.875
330	0.870	0.875
340	0.870	0.875

### Curvas de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



—●— Curvas de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1

### Curvas de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 2

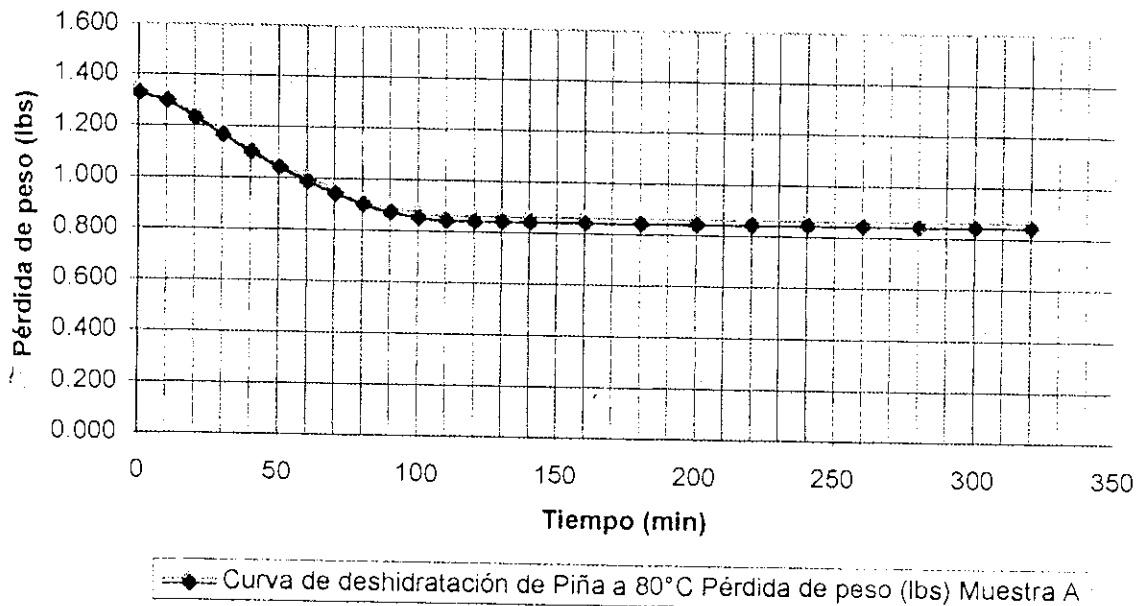


—●— Curvas de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 70°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 2

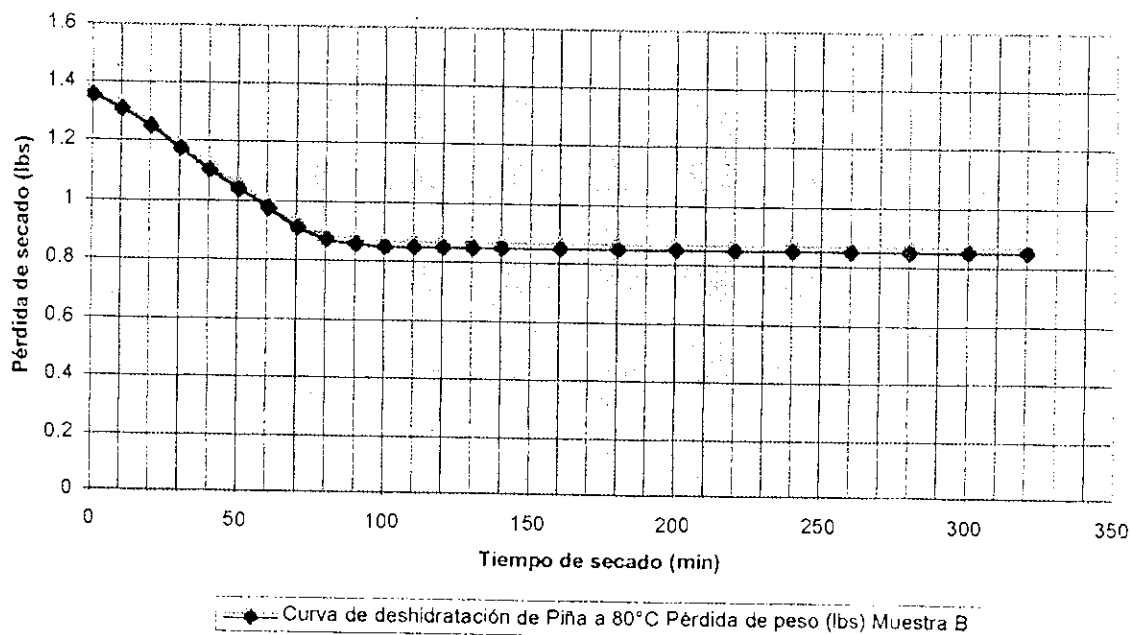
## Curva de deshidratación de Piña a 80°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra A	Muestra B
0	1.345	1.370
10	1.315	1.325
20	1.250	1.265
30	1.185	1.190
40	1.120	1.120
50	1.060	1.055
60	1.005	0.995
70	0.960	0.930
80	0.920	0.890
90	0.890	0.875
100	0.870	0.865
110	0.860	0.865
120	0.860	0.865
130	0.860	0.865
140	0.860	0.865
160	0.860	0.865
180	0.860	0.865
200	0.860	0.865
220	0.860	0.865
240	0.860	0.865
260	0.860	0.865
280	0.860	0.865
300	0.860	0.865
320	0.860	0.865

Curva de deshidratación de Piña a 80°C Pérdida de peso (lbs)  
Muestra A



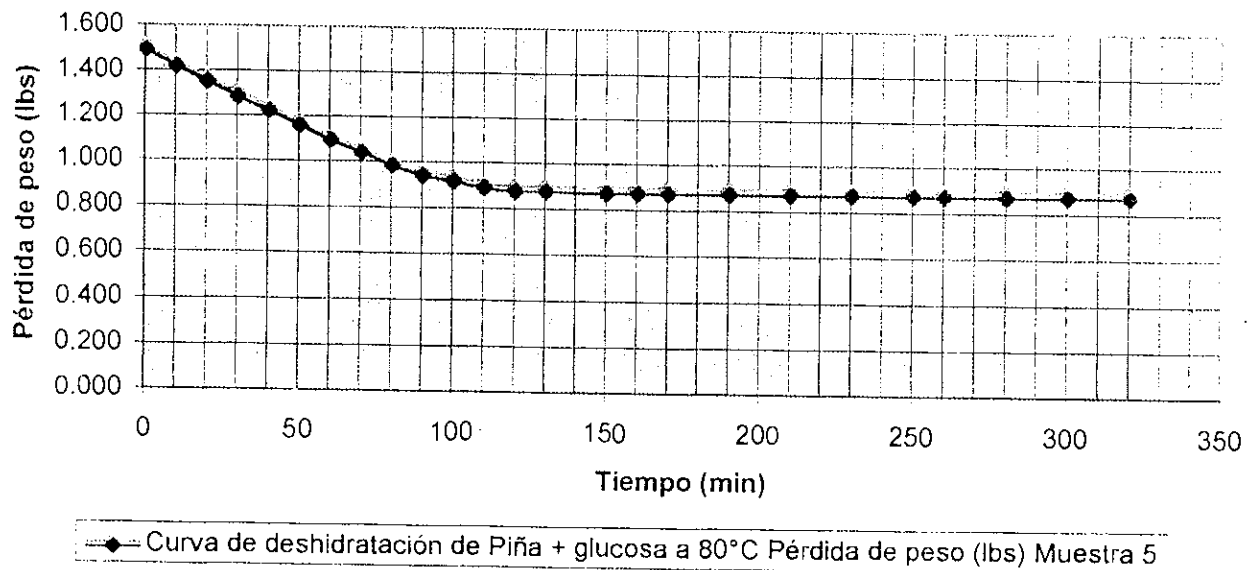
Curva de deshidratación de Piña a 80°C Pérdida de peso (lbs)  
Muestra B



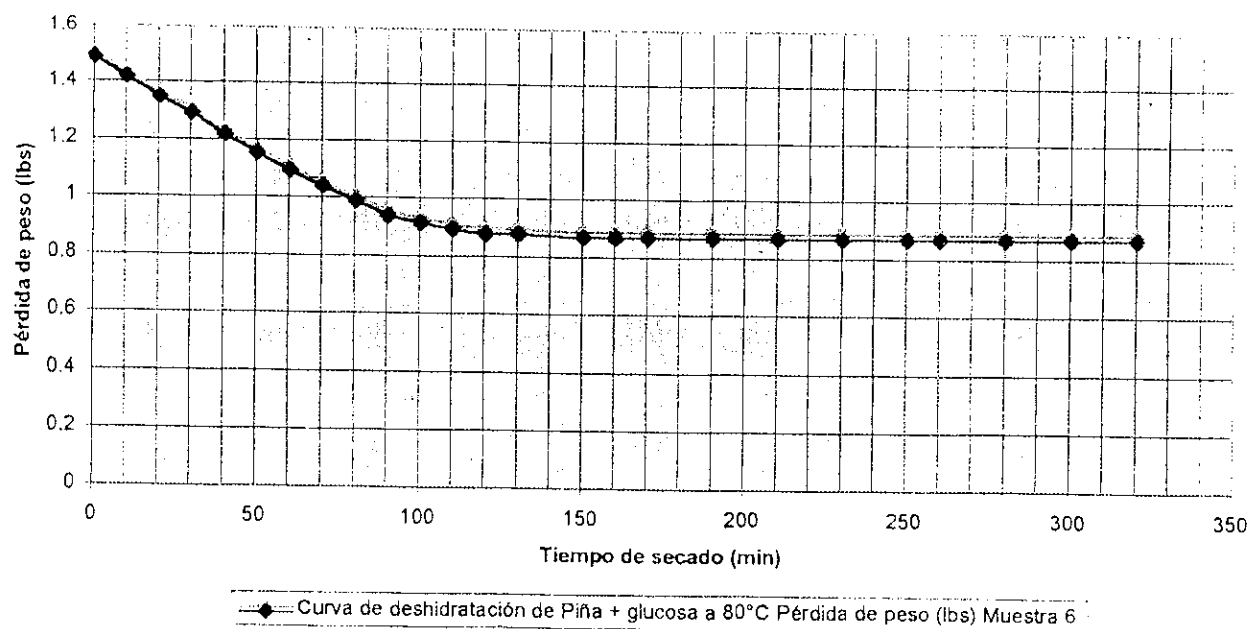
## Curva de deshidratación de Piña + glucosa a 80°C

Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 5	Muestra 6
0	1.510	1.505
10	1.440	1.435
20	1.370	1.365
30	1.305	1.310
40	1.245	1.235
50	1.180	1.170
60	1.115	1.110
70	1.060	1.055
80	1.005	1.005
90	0.960	0.955
100	0.935	0.930
110	0.910	0.910
120	0.895	0.895
130	0.895	0.895
150	0.890	0.885
170	0.890	0.885
160	0.890	0.885
170	0.890	0.885
190	0.890	0.885
210	0.890	0.885
230	0.890	0.885
250	0.890	0.885
260	0.890	0.885
280	0.890	0.885
300	0.890	0.885
320	0.890	0.885

**Curva de deshidratación de Piña + glucosa a 80°C  
Pérdida de peso (lbs) Muestra 5**



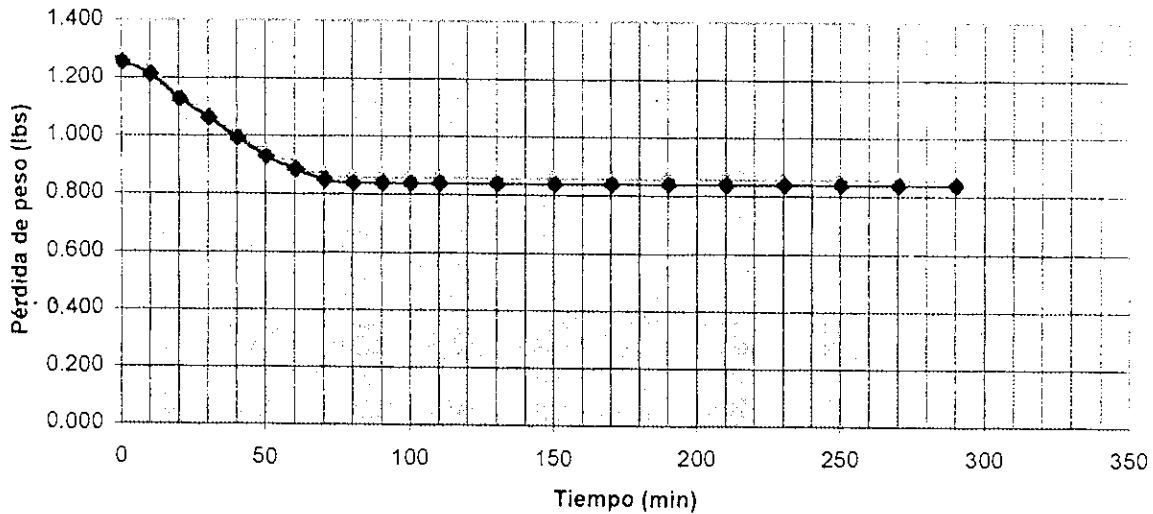
**Curva de deshidratación de Piña + glucosa a 80°C Pérdida de peso (lbs)  
Muestra 6**



## Curva de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 80°C

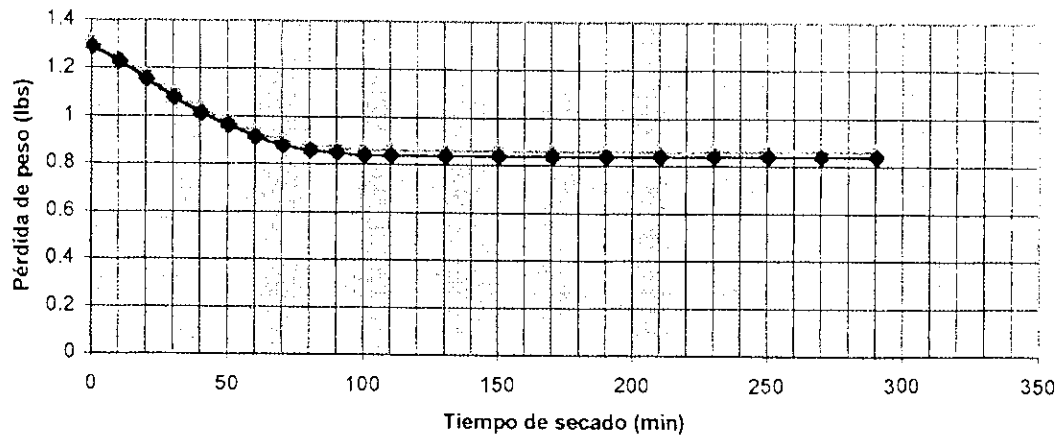
Tiempo (min)	Pérdida de peso (lbs)	
	Muestra 1	Muestra 2
0	1.270	1.310
10	1.230	1.250
20	1.145	1.175
30	1.080	1.100
40	1.010	1.035
50	0.945	0.985
60	0.900	0.935
70	0.865	0.900
80	0.855	0.880
90	0.855	0.870
100	0.855	0.860
110	0.855	0.860
130	0.855	0.860
150	0.855	0.860
170	0.855	0.860
190	0.855	0.860
210	0.855	0.860
230	0.855	0.860
250	0.855	0.860
270	0.855	0.860
290	0.855	0.860

Curva de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 80°C  
Pérdida de peso (lbs) Muestra 1



—●— Curva de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 80°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 1

Curva de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 80°C Pérdida  
de peso (lbs) Muestra 2



—●— Curva de deshidratación de Piña + Metilcelulosa a 80°C Pérdida de peso (lbs) Muestra 2