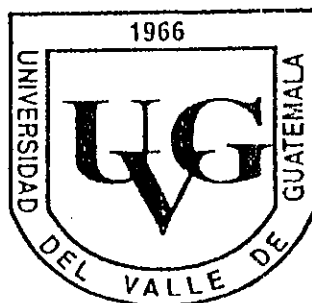
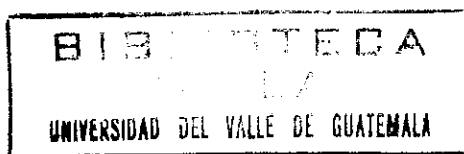


UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA
Y CIENCIA DE ALIMENTOS



PRODUCCION, CARACTERIZACION Y UTILIZACION DE
ZAPOTE DESHIDRATADO POR OSMOSIS
Y AIRE CALIENTE



CARLOS HECTOR ALFREDO PINTO HERNANDEZ

Guatemala
1994

**PRODUCCION, CARACTERIZACION Y
UTILIZACION DE ZAPOTE
DESHIDRATADO POR OSMOSIS
Y AIRE CALIENTE**



A mi Padre Celestial,
al Señor Jesucristo y a su Espíritu.
A mis padres, Héctor Pinto
y María Eugenia de Pinto.
A mis hermanos,
Héctor y Marco Vinicio.
A mi novia, Silvia Edith.
A la Empresa Programación Avanzada
en Computación (PROAVCO)



PREFACIO

En los países tropicales existen con una gran variedad de frutos de palmas, que son distribuidos

Richard Bressani

Dr. Ricardo Bressani

Entre las especies tropicales más populares se encuentran las frutas. El presente trabajo analiza la posibilidad de procesar la pulpa de sapote (*Casearia*), producto muy conocido en Guatemala.

Para el procesamiento de la fruta se utilizó un sistema combinado de deshidratación que consistió en un tratamiento

Tribunali:

continuo de piezas de la pulpa de fruto, seguido de un secamiento

Patricia Palacios

Licenciada Patricia Palacios Recinos de Palomo

La investigación de la humedad en el sapote por medio del sistema de deshidratación, analizar la

Ana Silvia Colmenares de Ruiz

Licenciada Ana Silvia Colmenares de Ruiz

(i)

Roberto De León Fajardo

Licenciado Roberto De León Fajardo

Fecha de aprobación: 01 de diciembre de 1994.

PREFACIO

PREFACIO

La mayoría de países tropicales cuentan con una gran variedad de productos agrícolas, que son distribuidos localmente y consumidos crudos.

Entre los productos tropicales más populares se encuentran las frutas. El presente trabajo analiza la posibilidad de procesar la pulpa del zapote (Calocarpum sapota), producto muy apetecido en Guatemala.

Para el procesamiento de la fruta se utilizó un sistema combinado de deshidratación que consistió en un tratamiento osmótico de piezas de la pulpa del fruto, seguido de un secamiento con aire caliente.

La investigación se realizó para determinar la efectividad de la remoción de humedad en el zapote por medio del sistema Osmoica (Osmosis-aire caliente), analizar la aceptabilidad del producto final y sugerir algunos de sus usos en la industria de alimentos.

CONTENIDO

	Páginas
PREFACIO	ix
RESUMEN	xiii
I. INTRODUCCION	1
II. OBJETIVOS E HIPOTESIS	3
III. ANTECEDENTES	7
A. Humedad en los alimentos	7
B. Deshidratación casera	9
C. Defectos en los productos alimenticios deshidratados	12
1. Reducción pronunciada de sólidos	12
2. Formación de superficies duras	12
3. Pérdida excesiva de constituyentes volátiles deseables	13
4. Cristalización del azúcar sobre la superficie de la fruta seca	13
5. Oscurecimiento	14
6. Dificultad en la rehidratación	15
D. Factores que afectan la velocidad de secado	16
1. Naturaleza del material	16
2. Forma, tamaño y arreglo de las piezas del material	16
a. Disposición del material respecto del aire	17
b. Carga del material húmedo por unidad de secado	17

RESUMEN

La deshidratación de las frutas es un proceso utilizado por los seres humanos desde las civilizaciones antiguas y su uso primordial era la preservación de los productos. El procedimiento para deshidratar los alimentos ha variado notablemente, se inició con el secamiento solar y ha evolucionado hasta encontrarnos con las técnicas más sofisticadas dependiendo del producto tratado y de las características finales deseadas.

Durante la primera parte del procesamiento de deshidratación se utilizaron diferentes tipos de soluciones osmóticas; soluciones de azúcar, panela y miel; asimismo se observó cómo afectaban las características finales del producto, el tipo de materia prima con que se iniciaba el procedimiento y el tiempo de exposición de la fruta al proceso osmótico.

Una Innovación importante en este trabajo fue el uso de la panela como agente osmótico, ya que es un subproducto de la industria azucarera y vendida a un precio económico.

El procesamiento osmótico durante cuatro horas produjo una reducción en el contenido de humedad de la fruta entre 25-30%, aproximadamente, para los tres agentes osmóticos señalados. Sin embargo, se notaron diferencias en la calidad

final de los productos al ser evaluados por medio de paneles de consumidores.

La deshidratación de la fruta por medio del sistema completo (ósmosis y aire caliente) permitió una reducción de humedad de la fruta en el siguiente orden; 93%, 90% y 88% para el sistema Osmoaica-azúcar, Osmoaica-miel y Osmoaica-panela respectivamente.

Luego de la deshidratación se procedió a la rehidratación de las piezas de fruta con agua a tres temperaturas diferentes (9, 20 y 45°C) para determinar si el producto recuperaba sus características de humedad iniciales y el tiempo necesario.

Se observó que la fruta procesada con el sistema Osmoaica-miel ofreció los mejores resultados, lográndose una rehidratación del 100% en un menor tiempo, en las tres temperaturas. A la vez se notó que el producto resultante del sistema Osmoaica-panela ofreció las mayores dificultades para rehidratarse a las tres temperaturas.

I. INTRODUCCION

Guatemala es un país ubicado en una región climatológica privilegiada. El istmo centroamericano ofrece una variedad grande de terrenos y ambientes para el desarrollo de especies animales y vegetales.

Es por estas razones que durante todo el año pueden encontrarse diversidad de cultivos, cosechas, frutas, verduras y granos; los cuales deben ser comercializados y utilizadas ya sea a nivel local o en el mercado internacional.

Como la mayoría de los países dedicados a las actividades agrícolas, Guatemala es un productor de materias primas que son procesadas en otros lugares.

El presente trabajo tiene como objetivo tratar de determinar y continuar el estudio de procesos que puedan diversificar el uso de los productos agrícolas cultivados en nuestros suelos.

El estudio hace énfasis en el desarrollo de una metodología para obtener productos deshidratados de frutas tropicales, especialmente el zapote.

El zapote es una fruta tropical muy apetecida en el mercado nacional y en la mayoría de países donde se conoce; además tiene un agradable sabor junto, a sus demás características organolépticas.

Con el fin de procesar la fruta se utilizará un método

de deshidratación combinada denominado Osmoica
(deshidratación por ósmosis y aire caliente).

Los productos de zapote deshidratado pueden contarse dentro de la gran gama de posibilidades con que la industria guatemalteca que utiliza las frutas puede contar, a la vez que ellos pueden representar materiales industrialmente procesados, con potencial para ser exportados hacia importantes mercados internacionales.

II. OBJETIVOS

a) **Objetivo General:** La tropicalización que ofrece un alto

- Evaluar los cambios de humedad y de calidad en piezas de zapote tratadas por ósmosis y aire caliente.

b) **Objetivos Específicos:** tiempo necesario para deshidratar la

- Observar el efecto de reducción de humedad en las piezas de zapote al utilizar soluciones osmóticas de panela, miel y azúcar.

- Evaluar los cambios en humedad y calidad de piezas de zapote deshidratado por aire caliente.

- Identificar la calidad de las piezas de zapote deshidratadas por un sistema combinado de ósmosis y aire caliente (Osmoica).

- Evaluar la calidad de las piezas deshidratadas durante su almacenamiento (rehidratación, color y humedad).

- Proponer algunos usos comerciales y caseros para los productos de deshidratación de zapote.

HIPOTESIS

1. El zapote es una fruta tropical exótica que ofrece un alto contenido de pulpa, susceptible de ser deshidratada por medio de un sistema combinado de deshidratación.
2. El sistema de deshidratación Osmoica (ósmosis-aire caliente) reduce el tiempo necesario para deshidratar la pulpa de zapote.
3. La deshidratación de la pulpa de zapote por un sistema combinado produce una fruta seca con mejores características organolépticas que el sistema convencional de secado.

II. ANTECEDENTES

En general, la deshidratación de los productos alimenticios se refiere a la remoción de humedad de dichos productos. Existen muchos objetivos para la deshidratación de productos alimenticios, la preservación por medio del deshidratado es uno de los más evidentes. Por medio de la reducción del contenido de humedad de un producto se limita el crecimiento microbiano y el desarrollo de otras reacciones, además este proceso favorece la preservación de características organolépticas y nutricionales; si bien es cierto otros autores señalan este punto como una desventaja de los productos alimenticios deshidratados.

Estos autores describen que algunos productos alimenticios deshidratados muestran cualidades pobres en cuanto a textura y sabor, a la vez que el equipo utilizado para el procesamiento de dichos productos suele ser muy específico.

Otro objetivo de la deshidratación es lograr una significativa reducción en el volumen de los productos, lo cual promueve una mayor eficiencia en el transporte y almacenamiento de los productos alimenticios. (1,5)

A. Humedad en los alimentos

Básicamente, el agua puede ser almacenada en los productos alimenticios en dos formas distintas. Una porción del agua puede ser almacenada en los espacios intersticiales

y entre los poros del material por medio de fuerzas puramente físicas relacionadas con la tensión superficial. Este tipo de agua es denominado "agua no ligada", la cual ejerce la misma presión de vapor y posee el mismo calor latente de vaporización que el agua pura a la misma temperatura.

La otra porción del agua puede ser almacenada en las superficies internas y externas de los materiales sólidos por medio de interacciones entre las moléculas de agua y las moléculas del material sólido, las cuales pueden formar una sola capa de moléculas de agua. Otra porción del agua puede ser guardada a través de interacciones entre las mismas moléculas de agua para formar varias capas.

Este tipo de agua es denominado "agua ligada", que ejerce una presión de vapor menor que la del agua pura a la misma temperatura; además, el calor de vaporización para el agua ligada es mayor que para el agua pura a la misma temperatura.

La cantidad de agua ligada almacenada en un producto alimenticio está muy asociada con la estructura química del material mientras que el agua no ligada está relacionada con la estructura física del mismo.

La humedad libre es un término que se refiere al contenido de humedad de un producto, dicho contenido de humedad está en exceso con relación al contenido de humedad en equilibrio (H_e). La única porción de humedad que puede ser removida durante un proceso de deshidratación es la humedad

libre, que depende del tipo de producto, temperatura y la concentración de vapor de agua en el aire. (1)

B. Deshidratación casera

La deshidratación o remoción de agua de los productos alimenticios es uno de los métodos más antiguos de preservación, hoy en día casi todos los alimentos pueden ser preservados por una variedad de procesos de deshidratación controlada. Muchos cambios físicos y químicos ocurren durante la deshidratación de los alimentos y son estos cambios los que determinan la calidad final de los productos secos y rehidratados. (2)

La operación unitaria de la deshidratación o secado es un proceso que involucra muchas variables de operación, a la vez que se utilizan varios términos para identificar los productos obtenidos, de aquí la necesidad de conocer algunos vocablos usados corrientemente.

Los productos secados son designados por palabras como "secos", "secados al sol" o "deshidratados". El término "seco" puede ser aplicado a cualquier método de secado, "secado al sol" implica el uso del calor natural del sol, "evaporado" se refiere al secado por medio de calor artificial que circula por medio de dispositivos mecánicos.

(18)

Como en cualquier otro método de preservación, la

calidad del alimento que es secado no será mayor que la calidad del alimento con que se inició el procedimiento.

La madurez es un factor interesante en el proceso de deshidratación, si el producto no está en el pico de su madurez, la calidad del producto seco se verá reducida grandemente. Este factor parece ser más crítico en el secado que en el enlatado o congelado.

Otro factor que debe considerarse al momento de deshidratar materiales alimenticios es la variedad de los productos utilizados, ciertas variedades de frutas y vegetales se deshidratan mejor que otras.

La mayoría de los productos alimenticios que van a ser secados o deshidratados necesitan de alguna forma de pretratamiento. Las frutas que tienden a oscurecerse cuando son expuestas al aire o a cambios de temperatura deben ser pretratadas. El tratamiento más efectivo para retardar la oxidación y la descomposición es el tratamiento con dióxido de azufre (SO_2), el cual ayuda a la retención de vitaminas A y C así como a mejorar el sabor y la vida de anaquel del producto. El pretratamiento de frutas con SO_2 se puede hacer por medio de la sulfuración o sulfitación, la primera expone la fruta a los vapores del dióxido de azufre, el cual se obtiene al quemar el material de azufre sólido.

La sulfitación consiste en sumergir el producto en una solución de bisulfito de sodio y agua. La sulfuración o

exposición del producto a vapores de SO_2 es el método más efectivo, sin embargo es muy complicado, consume mucho tiempo y es muy caro.

Las temperaturas para el secado de alimentos pueden variar ampliamente.

Esta es el área en la cual hay más controversia. La mayoría de fuentes informativas señalan o sugieren un punto de inicio para la mayoría de productos alimenticios a 140°F (60°C) por 1-3 horas y luego secar de 90°F a 130°F hasta que el material esté seco. Estas temperaturas secan el producto lo bastante rápido como para prevenir la descomposición.

Todos los productos alimenticios secados deben ser almacenados en empaques que excluyan aire, luz, y humedad; empacados en pequeñas cantidades si no van a ser consumidos inmediatamente. La temperatura óptima para el almacenamiento de productos alimenticios secos es de 60°F (15°C).

Todas las consideraciones anteriores se refieren a productos alimenticios deshidratados a nivel casero. (3)

Las características organolépticas de los productos deshidratados por métodos caseros o industriales deben ser muy parecidas a aquellas características alcanzadas por otros métodos de preservación, es más, dichas características deben ser comparables a las de los productos crudos o sin procesar. El sabor, olor, color y apariencia son parámetros que los productos procesados por medio de métodos de deshidratación

deben retener con el fin de ofrecer al consumidor grados altos de calidad.

C. Defectos en los productos alimenticios deshidratados

Las frutas y los vegetales deshidratados están propensos a adquirir ciertos defectos durante el procesamiento, entre ellos podemos mencionar:

1. Reducción pronunciada de sólidos

La reducción del volumen puede estar acompañada de varios daños tales como rajaduras o aglomeraciones en los tejidos. La reducción desigual en diferentes partes de una sola pieza produce a menudo productos curvados y torcidos.

Esto puede ser evitado por medio de un deshidratado lento de los materiales que tienden a reducir su volumen fácilmente.

(4)

2. Formación de superficies duras:

Esta condición se indica con la formación de capas, superficies o costras duras en los tejidos del material que está siendo deshidratado; estas costras son relativamente impermeables por lo que previenen o retardan el proceso de evaporación de humedad. La cantidad de humedad que se remueve de la superficie del material que está en proceso de deshidratación es mayor a la humedad que está migrando o difundiéndose desde el interior de las células hacia la superficie; lo cual ocasiona el endurecimiento de los

productos alimenticios.

Este fenómeno puede ser evitado al controlar la humedad relativa y la temperatura del aire que está circulando. El endurecimiento de las superficies ocurre más frecuentemente en productos de volumen pronunciado (cubitos, ruedas, tiras) que en productos en polvo. (4)

3. Pérdida excesiva de constituyentes volátiles deseables

Métodos para prevenir la pérdida completa de los constituyentes volátiles del sabor son difícilmente hallados en la industria casera y formal; sin embargo, algunas veces se utilizan metodologías que permiten captar o atrapar los vapores despedidos del deshidratador para luego condensarlos y regresarlos a los productos secos. También se utilizan en algunos procesos gomas y otros materiales con propiedades fijativas del sabor. (4)

4. Cristalización de la azúcar sobre la superficie de la fruta seca

Algunas frutas están sujetas a este defecto después del proceso de deshidratación, especialmente si durante el deshidratado se ha utilizado alguna técnica que incluya el uso de agentes ricos en azúcares; por ejemplo soluciones osmóticas preparadas con elementos como polisacáridos.

Los azúcares presentes en las frutas secas lo están en forma de un jarabe sobresaturado o de azúcar vítreo, y las propiedades de sorción de la fruta seca son muy parecidas a

las del azúcar de caña cristalino. La absorción de humedad del aire durante el almacenamiento puede llevar a la cristalización de algunos de los azúcares presentes en la fracción jarabe de la fruta seca, dando por resultado que el fruto se vea "azucarado".

El azucaramiento se produce en la superficie de la fruta o en el interior de la carne de la misma. Cuando se forman cristales en la carne de la fruta, los mismos pueden aparecer en forma de manchas de color rojo claro o pardo y, en muchos casos, este "azucaramiento" es de aspecto muy parecido al de los crecimientos de mohos y, muy a menudo, se le confunde con estos últimos. La aparición de los cristales de azúcar puede darse en plazo de 3 a 4 meses en fruta almacenada en una atmósfera cuya humedad relativa promedio es de 60% o más. Cuando el contenido de humedad es muy alto, el azucaramiento puede ir acompañado de crecimiento de levaduras y mohos. (7)

5. Oscurecimiento

Las frutas secas, en particular las de color claro tales como albaricoques, melocotones, mangos, piñas, etc; están sujetas a cambios químicos durante el almacenamiento. Los efectos visibles de estas alteraciones es un oscurecimiento del color que va acompañado de aparición de sabores acaramelados, pérdida de bióxido de azufre y pérdidas de vitamina C.

El oscurecimiento del color o "pardeamiento", se acelera con los aumentos de la temperatura de almacenamiento, y las altas concentraciones de bióxido de azufre en la fruta tienden a retrasarlo. Durante el almacenamiento, el bióxido de azufre tiende a perderse por volatilización, particularmente a las temperaturas más altas de almacenamiento, de modo que la protección dada a la fruta va disminuyendo paulatinamente. La pérdida de la calidad en las frutas secas puede reducirse al usar bajas temperaturas de almacenamiento. (4,7)

6. Dificultad en la rehidratación

Los cambios que contribuyen a la pérdida de la habilidad del producto para rehidratarse pueden ser físicos en términos de contracciones y distorsiones en la células y espacios capilares, pero también pueden ser químicos y fisico-químicos en el nivel coloidal.

Alimentos o productos deshidratados rápidamente (Rapidly-dried) contienen más espacios vacíos internos por lo que contienen una densidad a granel (Bulk density) más pequeña que los productos deshidratados lentamente (Slowly-dried). Los últimos son más económicos en materiales y contenedores de empaque pero pueden exhibir otras características desfavorables tales como: color pobre y rehidratación lenta. (4,28)

D. Factores que afectan la velocidad de secado

El proceso de secado o deshidratación procede a diferentes velocidades dependiendo de varios factores.

1. Naturaleza del material que se deshidrata

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

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 materiales 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. (4)

2. Forma, tamaño y arreglo de las piezas del material

La teoría clásica de secado predice que la velocidad de secado de una sustancia varía inversamente con el cuadrado del grosor si la resistencia de película de la superficie a la transferencia de masa que sale de la pieza húmeda es despreciable en comparación con la resistencia a la difusión interna. Una pequeña diferencia en el grosor del material puede ocasionar resultados desproporcionados en el tiempo de

secado. Consecuentemente, partículas con un diámetro de unos pocos micrones como las obtenidas en el secado por aspersión pueden secarse en pocos segundos de contacto con aire caliente. (4)

a. La disposición del material respecto del aire secante

El arreglo de los materiales en las bandejas de secado debe ser tal que el área expuesta sea la máxima posible. En la deshidratación comercial, espacios o cabezas son frecuentes entre las bandejas, además de la utilización de bandejas o superficies cuyos fondos están perforados para evitar el secado desigual.

b. Carga de material húmedo por unidad de secado

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 propiciando una estructura abierta a través de la cual el aire puede circular.

3. Temperatura, humedad y velocidad del aire sobre el material que se seca

Es necesario controlar estos factores de tal forma que el proceso sea efectivamente un proceso de evaporación de la humedad presente en el producto, en el procesamiento casero o a pequeña escala es difícil controlar estas variables.

E. Métodos de secado

1. Secado solar

Este método de secado es utilizado principalmente en regiones tropicales, donde la luz solar es abundante y puede ser usada como una fuente barata de calor. El secado solar tradicional consiste en dispersar pedazos de frutas y/o verduras sobre sistemas tales como bandejas para luego exponer el material a la luz solar; también puede usarse fruta o verdura entera.

Este tipo de secado es propenso a la contaminación por el polvo que lleva el viento, los insectos y otros animales. Si el secado se realiza en un área cerrada, la mayoría de estos problemas podrían evitarse; sin embargo siempre debe existir cuidado para asegurar que el producto se encuentre en buenas condiciones. Es necesario completar un secado suficiente para reducir el nivel de la actividad de agua (A_w) para prevenir el crecimiento de mohos.

Las frutas con un alto contenido de azúcares pueden ser secadas con bastante éxito por este método. Un ejemplo de este tipo de secado puede observarse en la industria del café y la cocoa (En Guatemala, fabricación del chocolate) para la obtención de semillas, granos o almendras secas y curadas.

(5)

Los otros sistemas de deshidratación o secado tienen características especiales, tales como: acondicionamiento del

material que va a ser secado, área de la materia que será expuesta al calor, área de transferencia de calor, carga de producto que será secado, etc.

Cada sistema de deshidratado utiliza equipo y especificaciones diferentes, es decir, cada producto que se desea deshidratar tendrá mejores características finales de acuerdo a la tecnología usada.

La tabla No. 1 muestra algunos secadores usados en la industria, así como los productos que por medio de ellos son procesados. (29)

Los secadores pueden ser divididos en dos clases:

a) Secadores adiabáticos: el calor es llevado dentro del secador por un gas caliente. El gas aporta el calor al agua en los alimentos y lleva hacia afuera el vapor de agua producido. El gas caliente puede ser producto de combustión o aire calentado.

b) Secadores donde existe transferencia de calor a través de una superficie sólida: el calor es transferido al producto a través de una placa metálica, que lo contiene. Generalmente, el producto es puesto en un vacío, y a veces se expone al aire, permitiéndose que el vapor de agua sea eliminado por el gas circulante.

Es posible suministrar el calor por métodos de calentamiento infrarrojo, dieléctrico y de microonda. (29)

Entre los procesos de deshidratado o secado usando

sistemas de operación adiabática se encuentran:

5.b.1 Secado en cabinas

El secador consiste de un cámara en la cual pueden ser colocadas bandejas (charolas) con el producto. En los secadores grandes, las bandejas son colocadas sobre vagonetas (carritos) para facilitar su manejo; en los secadores pequeños las bandejas pueden ponerse sobre soportes permanentes. El aire es impelido por un ventilador y pasa por un calentador, a través de las bandejas que contienen el material que se está secando.

El secador de cabina es, por lo general, el menos caro de construir, es fácil de mantener y bastante flexible. Comúnmente es usado para estudios de laboratorio en la deshidratación de hortalizas, frutas, en operaciones comerciales de pequeña escala y temporales. (29)

5.b.2 Secado en túneles

Consiste en colocar el producto que se va a secar, generalmente frutas y hortalizas, en bandejas, vagonetas o en una banda transportadora que mueve el producto a través de túneles de 35 a 50 pies de longitud. El aire caliente es impelido entre las bandejas. La producción es programada de tal forma que cuando es sacada de un extremo del secador una vagoneta con producto terminado, una vagoneta de producto fresco es puesta en el otro extremo. (5,29)

El movimiento del aire puede ser en la misma dirección

que el movimiento del producto (flujo paralelo), en dirección opuesta (flujo en contracorriente) o en ángulo recto (flujo cruzado). En las Figuras No. 1, 2 y 3 se muestran un secador de platos, uno de túnel y el de bandas respectivamente.

Estos tres secadores utilizan una corriente circulante de aire caliente para proporcionar la energía necesaria para el secado del producto que durante el proceso no se mueve o lo hace a velocidad muy baja, comparada con la velocidad del aire circulante. (30)

Cuando el proceso utilizado es flujo paralelo se tiene la ventaja que el aire más caliente entra en contacto con el producto más húmedo, por lo tanto puede usarse aire más caliente. Por otra parte, el aire en el extremo de salida se vuelve más frío y más cargado de humedad y el producto final puede no estar lo suficientemente seco.

Si el movimiento del aire se usa en dirección contraria al flujo de material, el aire más caliente entra primero en contacto con el producto más seco, de tal manera que puede obtenerse un producto muy seco. Debe tenerse cuidado de no sobrecargar el secador, ya que la carga de humedad puede suspenderse mucho tiempo en el aire caliente y húmedo sin que haya secado en algún grado. Esto podría dar tiempo para la descomposición del producto.

Por otra parte, el producto seco no debe ser dejado mucho tiempo en el secador, ya que al entrar en contacto con el

aire más caliente puede sobrecalentarse.

En general, el túnel a contracorriente utiliza menos calor y da un producto más seco que el túnel de flujo paralelo.

En algunos casos son combinados los dos tipos de túneles en una sola unidad. El producto es puesto primero en un túnel paralelo para aprovechar la alta velocidad inicial de secado en este tipo de túnel. Después puede ser puesto en un túnel a contracorriente para obtener un producto bien seco. (29)

2. Secado de esprea o por aspersión

Este tipo de secado se utiliza para secar soluciones, pastas y suspensiones; es una técnica popular para la producción de polvos secos a partir de productos líquidos. El producto alimenticio no es llevado sobre una bandeja o soporte, sino que es dispersado en forma de pequeñas gotas que son suspendidas en el aire de secado. Los secadores por aspersión tienen la ventaja de tiempos de secado más cortos, y si son operados apropiadamente, se retienen grandes proporciones de sabor, color y valor nutritivo del alimento. El proceso de secado por aspersión consta de las siguientes etapas:

- a) Concentración del producto a un contenido de humedad relativamente bajo mediante otras técnicas de eliminación de agua más económicas, por ejemplo, evaporación o ultrafiltración.

- b) La aspersión o atomización del producto concentrado dentro de una corriente de aire en movimiento para que se produzcan pequeñas gotas.
- c) Transferencia de calor de la corriente de aire a las gotitas de líquido para darles el calor latente de vaporización que necesitan.
- d) Separación y/o filtración del polvo seco por el movimiento de la corriente de aire.

Los secadores por aspersión se clasifican comúnmente de acuerdo a la dirección general del flujo del producto. En la Figura No. 4 se muestra un secador por aspersión horizontal y en la Figura No. 5 se ilustra uno vertical.

Ambos secadores por aspersión tienen una corriente de aire caliente que entra en el secador y se mezcla con el producto rociado o atomizado. La forma en la cual se mezcla la corriente de producto líquido y la corriente de aire caliente es esencial para tener un secado rápido y uniforme.

El aire que sale de los secadores por aspersión fluirá después en el sistema de separación y filtración. Con frecuencia se usan uno o dos ciclones para separar la mayor parte del polvo acarreado por el aire. Los ciclones originan un movimiento del aire en remolino que produce una fuerza centrífuga sobre las partículas del polvo haciendo que se muevan hacia las paredes de los ciclones, mientras que las partículas de aire salen por el centro. Algunos secadores por

aspersión usan un sistema de filtros sin ciclones para la eliminación de los polvos. El aire que entra al secador también es filtrado para evitar la contaminación del producto.

Algunos productos que son procesados por medio del secado por aspersión son: jugos de frutas, café para obtener café instantáneo, té, soluciones de materiales almidonados, leche descremada en polvo, etc.

Este tipo de secado también cuenta con ciertas desventajas, entre las que se puede mencionar los altos requerimientos de energía, el producto que entra al secador debe ser líquido y/o susceptible de ser atomizado, el producto seco no debe adherirse a las paredes del secador, la corriente de aire que sale del secador debe ser usualmente filtrada para evitar pérdidas del producto o su contaminación. (5,29,30)

Como se mencionó anteriormente, las metodologías para eliminar la humedad de los productos alimenticios son variadas y los sistemas y equipos que se utilizan pueden ser clasificados de acuerdo a la forma en que el calor es transferido al producto. A continuación se describen algunos procesos de secado que utilizan calor transferido a través de una superficie sólida, es decir, los secadores del tipo b, según la clasificación de la página.

3. Secado de tambor

Los secadores de tambor usan transferencia de calor por conducción para suministrar la energía para la vaporización del agua. El vapor se condensa dentro del tambor para constituir una fuente de calor. A medida que el tambor gira, se adhiere una delgada capa del producto sobre el tambor. La velocidad de rotación del tambor se ajusta para obtener el contenido deseado de humedad en el producto que una vez secado es raspado para desprenderlo del tambor por medio de una cuchilla. El cuarto donde está colocado el secador debe tener una ventilación adecuada para eliminar el vapor de agua que se produce. Se acostumbra usar uno o dos tambores; si se usan dos tambores, ellos se hacen rotar en direcciones opuestas y el producto a ser secado se alimenta en el espacio (muy pequeño) que queda entre ellos.

Este tipo de secado puede ser utilizado para deshidratar productos almidonados, purés y en algunos casos jugos de frutas; algunas veces la operación puede ser efectuada al vacío. La Figura No. 6 ilustra un secador de tambor sencillo.
(5,30)

4. Secado al vacío

El secado al vacío permite la remoción de la humedad a temperaturas más bajas que las usuales de secado, por lo que los productos resultantes tienen una calidad superior.



El deshidratado al vacío se realiza generalmente en lotes y en cámaras cerradas para mantener condiciones adecuadas al proceso. El problema con este tipo de secado radica en la transferencia de calor al producto ya que el aire está ausente como medio de transporte, el calor debe ser transmitido a la superficie del material, ya sea por radiación o por el contacto con superficies calentadas. (5)

5. Deshidratación congelada

Es una extensión de la deshidratación o secado al vacío, la humedad es eliminada de los productos usando temperaturas por debajo del punto de congelamiento del agua a la presión existente. El agua ya no se evapora sino se sublima (cambia de sólido a vapor sin pasar por la fase líquida, i.e. de hielo a vapor de agua) evitándose el encogimiento y los gradientes de concentración presentes en la evaporación del agua. El producto mantiene su forma a la vez que aparecen en él pequeñas perforaciones, lo cual permite que sea rehidratado rápida y completamente.

La calidad de los productos procesados por deshidratación congelada es altamente dependiente de las condiciones de almacenamiento. Aun la presencia de pequeñas cantidades de oxígeno ocasionará la deterioración del sabor, esta sensibilidad al oxígeno es originada por el aumento del área superficial del alimento deshidratado. Recientemente se

han desarrollado materiales de empaque plástico formados por varias capas o láminas, una de las cuales contiene litio y un elemento que captura el oxígeno; esto para aumentar la vida de anaquel de los productos procesados por la deshidratación congelada.

El equipo utilizado en este proceso de deshidratación es caro por lo que su uso se ha restringido a ciertos alimentos, por ejemplo productos cárnicos y café para la obtención de café instantáneo. (5)

Existen otros métodos para la deshidratación de los productos alimenticios, algunos son extensiones de los ya mencionados (por ejemplo el deshidratado en leche fluidizado y el "puff drying" que es una combinación de métodos convencionales y al vacío) y otros ofrecen perspectiva de vanguardia para el procesamiento de materiales con características especiales como las frutas, en especial las frutas tropicales exóticas.

Uno de los métodos que se perfila como de los más adecuados en cuanto a condiciones de operación y características deseables en los productos finales para la deshidratación de frutas tropicales exóticas es la deshidratación osmótica.

6. Deshidratación osmótica

Cuando una fruta o verdura aún es parte de una planta en crecimiento, elimina agua en la forma de vapor. Esta pérdida

de agua se compensa mediante la captación de agua a través de las raíces de la planta. Las frutas o verduras cosechadas y almacenadas en un lugar abierto, además que continúan perdiendo humedad y desprovistas de su suministro de agua, se deshidratan. El tejido vegetal adquiere una apariencia flexible y sin vida. Mientras las células del tejido de la planta permanezcan vivas, el contenido de agua puede aumentar o disminuir mucho y rápidamente sin producir un daño irreparable. Las membranas vacuolar y protoplásmica de las células vivas son semipermeables y osmóticamente activas. El agua puede llegar al interior de las células cuando el tejido de la fruta o la verdura está rodeado por agua, debido a los solutos que se encuentran presentes. Estos solutos disminuyen la presión de vapor del agua dentro de la célula, permitiendo la entrada de agua desde alrededor del tejido. La presión requerida dentro de la célula para evitar esta entrada del agua se conoce como presión osmótica.

En realidad, las moléculas de agua entran y salen de la célula, pero el flujo neto es hacia el interior de la célula debido a la concentración de solutos en la savia celular. Dichas células llenas de vacuolas ejercen presión unas sobre otras, y esto es lo que proporciona a los tejidos de las plantas su calidad de crujiente. Por ejemplo, una hoja de lechuga marchita o flácida debido a la pérdida de agua dentro de las vacuolas de la célula, rápidamente revive y recupera

su calidad de crujiente cuando se coloca en agua fría e incluso en aire saturado con vapor de agua. Los nutrientes perdidos como resultado del marchitamiento, ya no se recuperan. Es posible sacar el agua de las células mediante un proceso osmótico, tal como lo muestra la Figura No. 7.

(31)

Se debe tener en mente que la remoción de agua en los productos alimenticios es un proceso que se realiza con el objetivo primordial de disminuir la actividad de agua de los materiales, es decir, para que el agua disponible a los microorganismos disminuya y así su crecimiento sea inhibido. Sin embargo, con el constante incremento en los costos de la energía y otros recursos se hace necesario considerar aspectos tales como transporte, empaque y almacenamiento de los productos. Dado que la mayoría de los productos alimenticios están constituidos por una gran cantidad de agua, una forma de reducir los costos de los aspectos anteriores sería precisamente reduciendo una porción de esta agua antes de las operaciones de empaque y distribución. Este concepto ha sido ampliamente usado en materiales alimenticios líquidos y semi-líquidos tales como los purés. La concentración de los productos debe requerir un mínimo uso de energía y producir elementos con características aceptables en cuanto a la rehidratación.

Uno de los métodos energéticamente más eficientes para

remover la humedad de los alimentos es la deshidratación osmótica, ya que el agua eliminada no tiene que sufrir cambios de fase. (17)

La deshidratación osmótica es un proceso para remover agua, está basado en colocar los alimentos (por ejemplo pedazos de frutas o verduras) en una solución hipertónica; dado que la solución posee una presión osmótica mayor y por lo tanto una actividad de agua (A_w) menor, surge una fuerza impulsora entre la solución y el alimento que permite la remoción del agua en este último.

Las paredes celulares actúan como membranas "semipermeables" y parcialmente selectivas, entonces existe siempre una transferencia de soluto desde la solución hacia el alimento, así como del alimento hacia la solución. La deshidratación osmótica directa es, por lo tanto, un proceso de difusión simultánea entre el agua y el soluto, hasta que una concentración de equilibrio es alcanzada. (15,19)

Otro factor que contribuye a que el resultado final del proceso de deshidratado osmótico sea la transferencia neta de agua, es que el soluto es incapaz de difundirse a través de la membrana en la dirección inversa o, si lo hace, es a una velocidad muy lenta.

La transferencia de agua por ósmosis es aplicable a los pedazos de frutas, ya que ellas contienen azúcares y otros solutos en soluciones diluidas. Por medio de la inmersión de

las frutas en soluciones concentradas de azúcar, el agua puede ser removida hasta en un 50% (otros investigadores señalan valores diferentes); es decir, este es un método de deshidratación parcial.

Muchos tipos de azúcares han sido utilizados como agentes osmóticos en el deshidratado de frutas y vegetales, por ejemplo, azúcar (sacarosa) y miel; sin embargo las azúcares fueron usadas para proteger la calidad del producto más que como un medio directo para reducir la cantidad de agua. Por el contrario en el deshidratado osmótico se usan altas concentraciones (65-75%). (15)

a. Ventajas

- Las frutas deshidratadas por ósmosis no están sujetas a altas temperaturas por largos periodos de tiempo, de tal forma que el daño al color y al sabor ocasionado por el calor es disminuido.
- El uso de azúcar o siropes como agentes de deshidratación osmótica previene mucho de la pérdida del sabor en la fruta fresca, tal como se observa en otros métodos de deshidratado convencional. Los sabores son compuestos volátiles.
- Las altas concentraciones de azúcar rodeando los pedazos de fruta previenen la descoloración del material ocasionada por las reacciones oxidativas (reacciones enzimáticas). Por ejemplo la sacarosa es un agente muy efectivo en la

inhibición de la polifenol oxidasa, la enzima que causa o cataliza el oscurecimiento oxidativo de muchas frutas cortadas. Por lo tanto puede obtenerse un buen color en los productos secos sin el tratamiento de químicos como el dióxido de azufre.

- Junto con el agua removida de la fruta por medio de la ósmosis, también se extrae algo del contenido del ácido de la fruta. Este pequeño contenido de ácido combinado con la pequeña cantidad de azúcar que se adhiere o penetra la fruta durante la inmersión en las soluciones osmóticas, produce un material más blando y dulce que la fruta seca ordinaria.

La deshidratación osmótica es un proceso dinámico en el cual se remueve agua y ácido, primero de una forma rápida y luego más despacio. La penetración de azúcar es lenta al principio pero se incrementa con el tiempo.

Por lo tanto, las características del producto pueden ser de una forma manipuladas al controlar temperatura, concentración de azúcar, tiempo de inmersión, etc; haciendo el proceso de ósmosis más rápido o más lento. (15,16)

b. Desventajas

- La pérdida en la acidez de la fruta mencionada arriba puede ser una desventaja para ciertos productos. Si este fuera el caso, la acidez puede ser mantenida añadiendo ácido a la fruta o al sirope.

- Un residuo de azúcar permanece en la fruta después del proceso de deshidratado, y a pesar de que usualmente es una capa delgada, podría ser indeseable.

El encubrimiento por una capa de azúcar en la fruta puede ser reducido por medio de un rápido sumergimiento de la fruta en agua después del paso de deshidratación osmótica.

- La fruta tratada con azúcar o un sirope que ha sido secada hasta un nivel de humedad muy bajo, ha mostrado una tendencia a ranciarse después del almacenamiento por varias semanas a temperatura ambiente. Se cree que la causa de esto es la gran retención de aceites y sabores que se obtiene en la fruta tratada osmóticamente.

Ya que el contenido de humedad varía entre 10-20%, las enzimas están activas y pueden causar un lento deterioro del color y del sabor. Además, el oscurecimiento no-enzimático es bastante rápido en frutas no tratadas químicamente y con estos niveles de humedad. Por lo tanto, las frutas procesadas con un proceso osmótico deben ser tratadas con SO_2 o mantenidas a bajas temperaturas para preservarlas, lo que opacaría algunas ventajas de este tipo de deshidratación.

(24,25)

- Una limitación para el uso de la deshidratación osmótica a gran escala es la cantidad de sirope diluido que sobra al final del proceso. Para que este proceso sea económicamente factible, el sirope debe ser reconcentrado y vuelto a usar.

(3)

Otra posibilidad es utilizar los jugos sobrantes en otras pequeñas industrias paralelas al deshidratado, por ejemplo: manufactura de jaleas y mermeladas, industria de confitería, panadería, bebidas; o bien buscar productos que funcionen como agentes de deshidratado osmótico eficientes y que a la vez sean baratos comercialmente. Por ejemplo, la panela y la miel, las cuales se producen en nuestro país a costos relativamente bajos y que podrían ofrecer buenas alternativas para el proceso que se quiere usar.

La cantidad y la velocidad con que el agua es removida de la fruta depende de diversas variables y parámetros de procesamiento. En general se ha mostrado que la pérdida de peso en la fruta tratada por ósmosis se ve favorecida por el incremento en la concentración del soluto en las soluciones osmóticas, el tiempo de inmersión, temperatura, la relación solución/alimento, el área superficial específica del producto y condiciones del sistema (presión, área de transferencia de calor, agitación). (17)

Se cree que la palabra "zapote" se deriva del vocablo nahuatl "tzapotl", un término general que se aplica a todos los frutos dulces y suaves.

El zapote pertenece a la familia Sapotaceae, familia a la cual también pertenece el chico o chicozapote, fruta muy apetecida en Guatemala.

Los árboles de zapote crecen desde el sur de México hasta las

partes nortes de Sudamérica incluyendo las islas caribeñas, estas plantas crecen a bajas elevaciones. En Guatemala el arbol fructifica entre 1340-1675 metros sobre el nivel del mar, es decir, en regiones de clima cálido.

Existen varias especies de zapote, sin embargo, en nuestro país se conocen básicamente dos: zapote de costa y zapote de montaña. Los primeros son los más apreciados por la calidad de su pulpa (color fuerte, dulzura y textura) mientras que los otros tienen una carne más pálida y una textura muy fibrosa, lo cual reduce su aceptación.

Los zapotes de costa se cultivan en regiones de la costa sur de Guatemala, cosechándose durante los meses de enero, febrero y marzo; mientras que los de montaña se cosechan en regiones más altas como el departamento de Guastatoya y algunas regiones de Baja Verapaz, entre enero y abril.

El mercado para esta fruta es local, aunque según estadísticas del Programa de Exportación e Importación de Productos Agrícolas del Comercio Internacional se ha exportado en años recientes hacia países de Centroamérica, a Estados Unidos y Canadá. (20)

La parte más apreciada del zapote es su pulpa, la cual se consume extrayéndola de la fruta partida; en bebidas, en postres o en mezclas con otras frutas como piña, para la fabricación de helados.

El valor alimenticio de la pulpa se ha analizado en Cuba

y en Centroamérica, obteniéndose los siguientes resultados: Calorías 114.5, proteína 0.188-1.97 g., grasa 0.09-0.25 g., carbohidratos 1.41-29.7 g., fibra 1.21-3.20 g., cenizas 0.89-1.32 g., calcio 23.2-121.0 mg., fósforo 22.9-33.1 mg., hierro 0.52-2.62 mg., carotenos 0.045-0.665 mg., tiamina 0.002-0.025 mg., riboflavina 0.006-0.046 mg., niacina 1.574-2.580 mg.; también se ha encontrado que la pulpa contiene algunos aminoácidos, tales como: triptofano 19 mg., metionina 12 mg. y lisina 90 mg. Todos estos valores alimenticios están calculados en base a 100 gramos de parte comestible de la fruta.

Las semillas, conocidas como sapuyulos o sapuyules se tostan y se mezclan con las semillas de cacao para la fabricación de chocolate o en mezclas para hacer bebidas.

Los zapotes se encuentran en los centros de comercio, mercados, fincas y su precio varía entre Q 0.25-0.60 por unidad durante el período pico de la cosecha, alcanzando un valor entre Q 1.50-3.00 por unidad al final de la misma.

Actualmente esta fruta solo se consume fresca, por lo que es importante buscar formas de preservación y procesamiento que ayuden tanto a la distribución en el mercado local como a la diversificación de productos para la exportación.

El procesamiento del zapote sugerido en este trabajo se

basa en un pretratamiento para deshidratar parcialmente la pulpa de la fruta utilizando soluciones de agentes osmóticos: sacarosa, miel y panela. Estos tres tipos de azúcares son comunes en nuestro país, a continuación se da una breve descripción de ellos.

La 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 solo se obtiene de la primera. Su dulzor se toma como referencia para determinar el poder edulcorante de otros compuestos. (3)

La miel es una sustancia producida por las abejas y otros insectos himenópteros, en el presente estudio se utilizó miel producida por abejas. Contiene aproximadamente 40% de fructosa, 37.5% de glucosa, 0.5% de sacarosa, 21% de agua, 0.5% de proteína, 0.2% de lípidos y 0.2% de cenizas; tiene además la esencia de la flor de donde el insecto ha tomado la materia prima para su elaboración. Su alta estabilidad durante el almacenamiento se debe a que es un alimento de humedad intermedia y a que contiene ácido glucónico y peróxido de hidrógeno. (3)

La panela, también llamada azúcar morena, azúcar negra o mascabado es un producto intermedio del proceso de refinación de la sacarosa; contiene minerales y otras impurezas

responsables del color y del sabor característicos. (3)

En Guatemala puede obtenerse en los mercados locales en varias formas, las cuales se venden por peso. Este tipo de azúcar es muy utilizado en la fabricación de dulces típicos y artesanales.

IV. EXPERIMENTOS ANTERIORES

Los productos de frutas deshidratadas tradicionales, incluyen mitades o segmentos de ciruelas, manzanas, higos, uvas, duraznos, melocotones y peras. (9)

Sin embargo, los primeros reportes sobre fruta deshidratada por medio de un proceso osmótico están referidos por J.D. Ponting, quien determinó que la fruta podía ser deshidratada hasta en un 50% de su peso original por la inmersión en siropes de azúcar o en azúcar granulada.

A su vez, Ponting analizó diferentes variables del proceso tales como: temperatura, agitación, procesos posteriores. Determinó que la velocidad del proceso de ósmosis en pedazos de manzana era marcadamente afectada por la temperatura, sus experiencias datan de la década de 1960. (24)

En 1973 aparece otra publicación del mismo investigador donde hace referencia al procedimiento de deshidratación osmótica seguido de una deshidratación al vacío (Proceso Osmovac) sugiriendo resultados favorables para frutas tales como: manzana, banano, nectarines, papaya, durazno, pera, piña, ciruela, fresa. Resultados menos favorables para cerezas (despepitadas y crudas) y uvas; finalmente, resultados desfavorables para frutas cítricas, tomate y cerezas congeladas. (25)

Los investigadores G.W. Hope y D.G. Vitale, del Instituto de Investigación de Alimentos del Departamento de

Agricultura de Canadá sugirieron y publicaron métodos de deshidratado a través de un proceso osmótico para frutas tropicales en países productores de azúcar. Ellos describieron procedimientos para la deshidratación de banano y plátano, mango maduro y mango verde.

Para la deshidratación de banano y plátano sugieren colocar la fruta rodajada en un jarabe de azúcar que contenga en 60-67% de sólidos solubles y con una relación solución/azúcar de 4:1. Los investigadores señalaron que la fruta perdería cerca del 40% de la humedad original en un tiempo de 18 horas. Además incluyeron en el procedimiento un baño posterior de la fruta en una solución de sacarosa al 60% que contuviera un 1% de dióxido de sulfuro (SO_2). Recomendaron un tratamiento posterior si la fruta iba a ser almacenada, por ejemplo, un deshidratado con aire caliente o un secado al sol. (14)

Los procedimientos para la deshidratación de mango maduro y verde son similares al anterior, con la diferencia que el fruto perderá la humedad en un tiempo considerablemente menor y cuando se trata de frutas verdes el soluto osmótico más conveniente podría ser la sal común ($NaCl$).

Daniel F. Farkas y M.E. Lazar analizaron el efecto de la temperatura y la concentración de los siropes en la velocidad de la deshidratación osmótica de piezas de manzana. El rango

de temperaturas varió entre 30-60° C y la concentración de los siropes entre 50-75° Brix, los investigadores estudiaron las condiciones más favorables para obtener fruta parcialmente deshidratada que pudiera ser tratada con una deshidratación congelada (Dehydrofreezing) posteriormente, con el fin de tener productos de manzana adecuados para la fabricación de rellenos para pasteles y pies.

Luego del análisis de las pruebas, concluyeron que la velocidad de secado en las rodajas y anillos de manzana en soluciones saturadas o cerca de la saturación (soluciones de sacarosa), era una función directa del tamaño de las piezas de fruta y de la temperatura del secado; tal y como sucede en la deshidratación convencional por aire. Las condiciones más favorables fueron 70° Brix y 50° C, lográndose una reducción del 50% del peso en la fruta en un tiempo de 8 horas. (12)

James Hawkes y James M. Flink también estudiaron la concentración osmótica de rodajas de manzana antes de una deshidratación congelada, los autores de este estudio analizaron el uso de otros agentes osmóticos tales como: lactosa, maltodextrina, cloruro de sodio; a la vez que utilizaron mezclas de ellos con el agente osmótico seleccionado anteriormente: sacarosa.

Los investigadores prepararon soluciones o mezclas de ellas con concentraciones entre 25-60% (p/p) y agregaron 0.52% de ácido ascórbico, a la vez que 0.14% de ácido málico para

prevenir el oscurecimiento de la fruta durante el manejo y el subsecuente procesamiento. La fruta fue agitada por medio de un sistema mecánico y la relación que guardaba con la solución osmótica era de 20:1. (13)

Hawkes y Flink concluyeron que todas las soluciones osmóticas al 60% que utilizaron fueron efectivas, de tal forma que la elección del sistema del soluto osmótico a utilizar puede ser hecha con base en factores organolépticos y económicos. Las evaluaciones organolépticas realizadas mostraron un alto grado de aceptación para manzanas tratadas con sistemas sacarosa-lactosa. La maltodextrina también puede ser usada como un sustituto parcial de la sacarosa. Tanto la maltodextrina como la lactosa tienen menores niveles de dulzura, que las hace deseables como agentes osmóticos para materiales alimenticios que requieren bajos niveles de dulzura. (13)

J.H. Moy, N.B.H. Lau y A.M. Dollar, del Departamento de Ciencia de Alimentos y Tecnología de la Unidad de Agricultura Tropical de la Universidad de Hawai, realizaron y publicaron un estudio de los efectos de la sacarosa y los ácidos en la deshidratación Osmovac (Osmosis y Vacío) de frutas tropicales.

Para este estudio utilizaron papaya y mango, analizando la acidez y la concentración de sacarosa de las soluciones osmóticas y su relación con la velocidad de deshidratado.

Las frutas fueron cortadas en rodajas y fueron colocadas en jarabes de sacarosa con concentraciones de 0-60% con o sin acidificación por la adición de ácido acético, cítrico, láctico o hidroclicórico en concentraciones menores al 3.5%. La relación entre la fruta y la solución varió entre los rangos 1:3 a 1:6 pero la mayoría se trabajó a 1:4, las soluciones fueron agitadas constantemente; la temperatura de trabajo fue de 21° C y el tiempo de proceso fue de 1 a 12 horas. (23)

Los investigadores encontraron que la deshidratación en el paso osmótico se incrementaba con el aumento de la concentración de sacarosa y el tiempo de contacto. La pérdida de peso en el mango fue directamente proporcional a la concentración de sacarosa, mientras que para la papaya se observó una relación no lineal. La acidificación de las soluciones concentradas de sacarosa con ácidos orgánicos incrementó la velocidad de ósmosis en la deshidratación de la papaya pero no ocurrió lo mismo con el mango. (23)

Estudios más recientes han analizado los efectos de los agentes osmóticos y su concentración en la calidad final de la fruta. Podemos mencionar el experimento publicado por H.R. Bolin, C.C. Huxsoll y R. Jackson en donde ellos estudiaron la posibilidad de utilizar siropes osmóticos reconcentrados y vueltos a usar en procesos de deshidratación. Concluyeron que, efectivamente, estos

siropes pueden ser usados varias veces (se indicó un número de 5) en procesos de ósmosis sin que se observen efectos adversos en la fruta que se está procesando, no obstante, las características fisicoquímicas del sirope sí cambian; entre estas características se pueden mencionar el oscurecimiento, la acidez y el poder de penetración en la fruta. Las frutas en estudio fueron manzanas, duraznos y melocotones. (3)

Por su parte los científicos C.R. Lericci, G. Pinnavaia, M. Dalla Rosa y L. Bertolucci, también analizaron y aportaron datos importantes sobre la influencia de los agentes osmóticos en el comportamiento de las frutas durante el secado y su calidad final. Ellos señalaron la pérdida de agua en el producto final como una consecuencia no sólo de la actividad de agua (a_w) del agente osmótico sino también de la ganancia de sólidos por parte de la muestra. Al mismo tiempo que las muestras de fruta eran procesadas, es decir, perdían agua hacia la solución hipertónica (solución osmótica de sacarosa), ganaban sólidos que se desplazaban de la solución hacia los tejidos celulares. La ganancia de sólidos depende de la composición química del sirope y de la forma de las muestras de fruta. También se señaló que la adición de pequeñas cantidades de NaCl a las soluciones osmóticas incrementaba la fuerza motriz en el proceso de deshidratado.

Los investigadores utilizaron a la manzana como fruta "modelo". (17)

El proceso de deshidratación osmótica ha sido motivo de estudio como una forma de preservar frutas exóticas, que luego son procesadas en forma de jaleas.

Los investigadores A.A. Adesina y J.O. Aina, del Departamento de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Ibadan en Nigeria, reportaron que el almacenamiento de una fruta nativa de Africa llamada manzana de estrella (African star apple) podía ser llevado a cabo por medio de un proceso osmótico.

La fruta se pela y se le da un baño en una solución de sorbato de potasio al 0.1%, luego se coloca en una solución de sacarosa al 20% donde se almacena. Se reportó que el tratamiento fue muy efectivo para preservar las calidades física y química de la fruta por un periodo de 16 semanas.

Las frutas tropicales son muy variadas y apetecidas en muchos mercados, es por eso que el cultivo y la producción de ellas para consumo en forma natural o procesada puede ser una industria creciente en países que las poseen.

Varios estudios sobre deshidratación osmótica como método de preservación de frutas tropicales se han realizado, entre las frutas más estudiadas podemos mencionar a la piña.

Uddin, Hwlader y Rahman encontraron que la piña podría perder entre 30-40% de su contenido de agua por medio de deshidratación osmótica en un día. Además estudiaron los

efectos de la temperatura y el grosor de las muestras procesadas en la velocidad y efectividad del tratamiento.

Estos científicos señalaron que la concentración de la solución osmótica debería ser mayor al 40%, las condiciones más favorables se encontraron con las soluciones más concentradas y con las muestras de menor grosor, a saber, soluciones al 60% y grosores de 5 milímetros. (30)

Angel L. Rodríguez Arce y Humberto Vega Mercado también publicaron un estudio acerca de la cinética de la deshidratación osmótica de piña y papaya. Estudiaron dos procesos: inmersión en sirope de sacarosa a 70° Brix y en sirope de sacarosa a 70° Brix con 1,000 p.p.m. de sorbato de potasio y 150 p.p.m. de metabisulfito de sodio. Los aditivos no sólo actuaron como preservantes sino que, de alguna manera, ayudaron a aumentar la fuerza motriz de las soluciones osmóticas; disminuyendo la actividad de agua de los productos finales a base de fruta y aumentando el pH final de las soluciones sin afectar el de las frutas. Estos investigadores señalaron que la piña mostró una tendencia mayor que la papaya hacia la absorción del azúcar, además la papaya indujo menos cambios químicos en las soluciones osmóticas que la piña. Por lo tanto, las soluciones en que se sumergen las frutas pueden volverse a usar más veces con papaya que con piña.

Este estudio describe de una forma muy clara el

mecanismo que tiene lugar cuando el agua se desplaza de los tejidos de la fruta a la solución osmótica y de los sólidos de la solución a las cavidades celulares del producto. (27)

En Guatemala también se han realizado estudios sobre la deshidratación osmótica de frutas tropicales, entre los que podemos mencionar al de Juan Francisco Menchú quien llevó a cabo un trabajo con papaya, mango, piña y banano.

Menchú empleó una solución de azúcar a 65° Brix a tres distintos niveles de temperatura: temperatura ambiente (alrededor de 22° C), 47° C y 60° C. La fruta se cortó en pequeños trozos, los cuales se mantuvieron sumergidos en el jarabe por medio de un dispositivo de plástico, manteniéndose una proporción en peso de jarabe a fruta de 2.4 a 1. La deshidratación osmótica se completó con un secamiento con aire forzado a 80° C y en el caso de la piña a 70° C; o bien con el uso de un secador al vacío.

En el caso específico del banano se ensayaron dos métodos diferentes de sulfitación, para evitar las reacciones de oscurecimiento.

Además de datos acerca de porcentajes de agua liberados de las frutas y los tiempos en que se consiguieron dichos porcentajes, este estudio señala otros datos de interés en el procesamiento osmótico de las frutas tropicales; por ejemplo se menciona que cuando el secamiento de los productos se lleva a cabo a muy bajos niveles de humedad, el producto no

puede conservarse por más de tres meses en simples bolsas de polietileno, por la higroscopicidad inherente del producto y la alta permeabilidad al vapor de agua del polietileno. El estudio marca la necesidad de continuar con experimentos relacionados, para encontrar las condiciones más adecuadas en el procesamiento y desarrollo de productos de alta calidad a partir de frutas tropicales. (19)

Como se mencionó anteriormente, las frutas tropicales ofrecen una amplia gama de posibilidades de procesamiento. Este trabajo de investigación tiene entre sus objetivos desarrollar un procedimiento para la obtención de productos de zapote a partir de técnicas de deshidratación osmótica. Es importante señalar que se han iniciado estudios en algunos de los frutos que componen la familia del zapote (Sapotaceae), por ejemplo, el reporte que muestra Julia F. Morton en su manual de frutas de climas templados (Fruits of Warm Climates). El manual describe que los frutos del árbol del chicle, conocidos en Guatemala como chicos o chicozapotes han sido exitosamente deshidratados por un proceso osmótico. El tratamiento consiste en sumergir trozos de la fruta en una solución de sacarosa al 60% por 5 horas, finalizado el procesamiento, el producto ha retenido una calidad aceptable por espacio de 2 meses. (22)

V. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Materia Prima

La fruta utilizada es el zapote (*Calocarpum guatemalense*) cultivada en regiones relativamente bajas (1340-1675 metros sobre el nivel del mar) donde se cosecha y transporta hacia los diferentes centros de distribución. Se usará fruta adquirida en los mercados locales con un grado de madurez de 3/4, es decir, zapotes que puedan ofrecer pulpa con características organolépticas deseables para el procesamiento. En Guatemala, este estado del climaterio de las frutas es conocido como fruta camagua o saraza.*

B. Metodología

a) Procesamiento del fruto:

Los zapotes se lavan, cortan y se separa la cáscara; pudiéndose hacer cortes en la pulpa para obtener trozos, tiras, o bien pedazos delgados (aproximadamente 5 cm. de largo x 0.5 cm. de ancho).

Tres frutos de un total de seis unidades serán pesados con cáscara, semilla y el material a ser procesado. Si existiera algún desperdicio o parte no utilizable, también será pesada. Del total de pulpa a procesar se tomará una porción como muestra, la cual se almacenará en un contenedor de vidrio y en refrigeración para fines de análisis químico.

/1/ Dicese de la fruta y algunos granos que empiezan a madurar

Asimismo, el lote será dividido en dos partes iguales, una para la deshidratación osmótica y la otra para la deshidratación con aire caliente.

b) Deshidratación osmótica:

La cantidad determinada de fruta que se utilizará para esta parte del procedimiento se coloca en las soluciones osmóticas, las cuales se preparan mezclando los substratos con agua debidamente purificada; los substratos seleccionados son: panela, miel y azúcar (sacarosa).

Las soluciones de estos tres tipos de azúcares se prepararán al 60% (p/v). La relación entre la cantidad de fruta y soluto para el procesamiento será de 4:1, es decir, cuatro partes de solución osmótica por una parte de fruta.

Se agregará a las soluciones osmóticas un 0.14% de ácido málico (Hawkes y Flink, 1978) para prevenir el oscurecimiento de la fruta.

También pueden prepararse las soluciones al agregar como agentes preventivos de la pérdida de color NaHSO_3 ó KHSO_3 en una proporción suficiente para obtener una concentración de 400-800 e incluye 1,000 ppm (partes por millón) de SO_2 .

El material será mantenido sumergido en el jarabe por medio de un dispositivo especial, ya que la fruta tiende a flotar debido a la densidad de la misma, (Ver Fig. No.). Las soluciones con fruta son agitadas con un sistema de

cápsulas de agitación.

La fruta será removida de la solución osmótica después de 40, 80, 120, 160, 200, 240 minutos. Cada vez que la fruta es extraída del jarabe es lavada con agua destilada, secada de la humedad superficial y pesada. Con estos pesos se cuantificará la pérdida de agua (la cual se está difundiendo hacia el jarabe o sirope), la ganancia de soluto por parte de la fruta, la pérdida de peso y el porcentaje de pérdida de humedad de la fruta. El proceso osmótico tiene una duración de 4 horas.

A continuación se caracterizan las piezas de fruta obtenidas con cada solución osmótica (panela, miel y azúcar) en cuanto a contenido de humedad perdida, color, sabor y textura.

El producto obtenido hasta este punto del proceso es un material con contenido de humedad intermedia, por lo que es necesario un tratamiento ulterior de deshidratado si la fruta va a ser almacenada. El objetivo de este tratamiento posterior es reducir el contenido de humedad hasta alcanzar entre 5-10% .

El método escogido es el deshidratado por aire caliente (Convección forzada), para ello se utilizará un deshidratador de bandejas marca American Harvest con un flujo de aire determinado (30 pies/segundo) y un termostato para el control de la temperatura.

Durante esta deshidratación con aire caliente la temperatura se irá incrementando paulatinamente (desde 125° F hasta 145° F), de tal forma que la fruta no adquiera un recubrimiento o costra (denominado en inglés "case hardening") en su superficie más externa que impida la evaporación adecuada del agua. Las bandejas con fruta del deshidratador serán removidas a intervalos de una hora para ser pesadas y cuantificar la disminución del contenido de humedad.

El producto se almacena en bolsas plásticas y recipientes de vidrio para fines de un estudio de almacenamiento. El conjunto de pasos que forman el sistema total de deshidratado explicado anteriormente será repetido tres veces para cada agente osmótico (panela, miel y azúcar).

c) Deshidratación con aire caliente:

Con el fin de contar con curvas de secado y datos patrón sobre la deshidratación de la pulpa de zapote con aire caliente se realizará un proceso similar al descrito anteriormente, con la diferencia de que las piezas de fruta no serán previamente preconcentradas con soluciones osmóticas. Una cantidad conocida de fruta se colocará en el deshidratador y el cambio de peso será determinado cada hora hasta obtener un peso constante. El procedimiento se hará en triplicado.

d) Evaluación de la Materia Prima y el Producto Terminado:

d.1. Humedad

Método de una hora de la AOAC.

d.2. Hidratación

Una cantidad de fruta deshidratada será pesada cuantitativamente y se colocará en un recipiente con agua en una relación de peso conocida, es decir, por una parte de fruta se usarán tres o cuatro partes de agua.

Se toma el peso de la fruta cada 10 minutos, por un total de 120 minutos, para observar el aumento de la masa y los posibles cambios en la textura, color y apariencia de los productos.

La evaluación de la hidratabilidad de la fruta deshidratada se realizará con agua a tres temperaturas diferentes: 8° , 21° y 40° C.

d.3. Sabor

Se determinará la preferencia en cuanto al sabor de las distintas muestras por medio de paneles de análisis sensorial. Los participantes de los paneles serán personas sin entrenamiento y el número de ellos variará de 8 a 10.

e) Análisis estadístico:

e.1. Estadística para las mediciones

Durante el análisis de las muestras de zapote se trabajará con tres diferentes agentes osmóticos: azúcar, miel y panela. Para obtener las gráficas de deshidratación con cada agente el experimento se repetirá tres veces con cada tratamiento, es decir, se realizará un análisis de varianza (ANDEVA) para observar el grado de variación entre cada punto en los diferentes tratamientos.

e.1. Tipos de paneles

Se usará un test de diferencia para encontrar las dos muestras que más gustan entre los panelistas, o sea, de los tres tipos de muestras se rechazará la que menos gusta.

De los diferentes análisis de diferenciación disponibles, se usará el test de clasificación (Ranking test), en el cual se le pide al panelista que clasifique varias muestras marcadas de acuerdo a alguna(s) característica(s) particular(es), la cual se señala asignándole un número. (Ver Tabla No.2).

En este caso la característica a analizar será el sabor. Las muestras con mejor sabor pasarán a la siguiente etapa.

Los datos o punteos obtenidos son analizados de acuerdo

a los Métodos de Evaluación Sensorial de Alimentos del Instituto Central de Investigación en Alimentos de Ottawa, Canadá. (16)

Las dos muestras con mejor sabor y parte de la pulpa de la fruta sin procesar se usan para la fabricación de un producto elaborado. Entre los productos elaborados se puede mencionar: purés, cereales con la fruta deshidratada incorporada, yogurtes con la fruta deshidratada incorporada, rellenos para pastel, etc. Se utilizará como ejemplo pasteles o pies con la fruta deshidratada incorporada.

Se prepararán pasteles o pies con la fruta deshidratada como relleno. Se tendrán tres tipos de productos: pasteles con fruta sin procesar y pasteles con las muestras de fruta deshidratada preferida por los consumidores en el panel anterior. A continuación se realizará otro test de análisis sensorial para clasificar los productos elaborados de acuerdo a la preferencia de los panelistas.

De nuevo se usará el test de clasificación, sin embargo en esta ocasión no se observarán diferencias entre las distintas muestras (pasteles rellenos con fruta) sino se evaluará la preferencia del consumidor por los productos. Aunque el procedimiento del análisis sensorial y el tratamiento de los datos es básicamente el mismo, el cuestionario que el panelista llena clasifica sus preferencias de acuerdo a palabras: primero, segundo, tercero, etc. (Ver Tabla No.3).

VI. RESULTADOS Y DISCUSION

En la mayoría de los procesos caseros, artesanales o industriales en los que se pretende procesar materias primas de origen vegetal, es muy importante conocer las características iniciales de los productos.

El proceso de deshidratación del zapote se inició con una caracterización del fruto; los resultados pueden observarse en la Tabla 1.

La parte más importante del fruto para el presente trabajo es la pulpa o parte comestible, la cual constituye aproximadamente el 64% del peso total de cada unidad; conteniendo un porcentaje de humedad del 57.4%. La relación que guarda el porcentaje de humedad y la cantidad de pulpa del fruto es aproximadamente de 1 a 1.

El porcentaje de humedad en la pulpa del zapote varía de acuerdo a factores tales como: etapa de madurez de la fruta, variedad y condiciones de almacenamiento. En el presente estudio se utilizaron frutas procedentes de distintos lugares (fincas y mercados locales), además se escogieron ejemplares de las dos variedades de zapote conocidas en Guatemala: zapotes de costa y zapotes de montaña.

También se utilizaron frutos con diferentes etapas de madurez y almacenados en condiciones diferentes, esto con el propósito de introducir todas las condiciones de variabilidad de la fruta en la caracterización. El resultado final

muestra siempre una relación cercana de 1 a 1 entre la humedad de la pulpa y el peso del zapote.

También puede observarse en la misma Tabla que los rangos para cada sección de la fruta: cáscara, semilla y pulpa, son bastante amplios, lo que muestra la gran variabilidad entre las unidades de materia prima.

El pequeño porcentaje (15%) representado por la semilla podría ser importante para otras industrias. En Guatemala y en otros países donde se conoce el zapote, las semillas son utilizadas como ingredientes para bebidas y productos tales como el chocolate. Además, se ha comprobado que puede ser una fuente de extracción de materias primas para la industria de cosméticos.

La cáscara constituye aproximadamente una quinta parte de la fruta del zapote, es un material fibroso cuyos usos podrían ser estudiados en el futuro.

Luego de la caracterización de las frutas se procedió a deshidratar porciones de la pulpa por medio de aire caliente a través de un sistema de convección forzada con el objetivo de obtener curvas patrón de comportamiento del producto, durante la remoción de humedad.

Se observan en la Gráfica 1.A las curvas obtenidas durante la deshidratación de la pulpa.

En un período de tiempo de ocho horas, la fruta fue sometida a aumentos de temperatura progresivos con el fin de

evitar el efecto de endurecimiento de la superficie más externa. La temperatura inicial fue de 52°C y fue aumentada paulatinamente a una razón aproximada de 1.4°C/hora , hasta alcanzar una temperatura final de proceso de 63°C .

Las tres curvas patrón muestran un comportamiento muy similar: una caída drástica y casi lineal del peso de la fruta en la primera hora de proceso. A continuación se observó cómo las curvas de variación de peso empiezan a estabilizarse hasta que la pérdida de humedad es casi una constante, a partir de la cuarta hora. Se notaron reducciones de humedad entre 65-70% en los tres lotes.

Se observan en la Gráfica 1.A que los puntos iniciales (tiempo=0 horas de proceso) son diferentes para cada uno de los tres lotes. Se utilizaron diferentes cantidades iniciales de fruta para verificar la similitud entre las curvas de deshidratado. Dicha similitud puede ser contemplada más claramente en la Gráfica 1.B, donde se muestra la expresión porcentual de la pérdida de peso para los tres lotes.

A pesar que la reducción de humedad por medio del procesamiento con aire caliente es notable en el deshidratado del zapote, las características organolépticas (sabor, color, textura) del producto final no son las más adecuadas para los potenciales consumidores, tal como se mostrará más adelante.

Durante la etapa osmótica del proceso (inmersión de la fruta en jarabes concentrados de azúcares), se observaron cambios importantes en los contenidos de humedad (razones de humedad o porcentajes de humedad). Los resultados se muestran en la Gráfica 2.

Pudo notarse que durante los primeros cuarenta minutos de proceso osmótico con los tres tipos de jarabe es cuando se logra la mayor pérdida de humedad, la relación tiempo de proceso/pérdida de humedad es lineal como en la deshidratación por aire caliente.

Durante las cuatro horas de inmersión de la fruta en los jarabes pudo observarse que el intercambio de agua y sólidos entre la fruta y la solución circundante a ella se estabiliza en los primeros cuarenta minutos de proceso con cada agente osmótico (panela, miel y azúcar). A partir de este momento se empiezan a notar pequeñas variaciones en el contenido de humedad de la fruta sumergida en los distintos jarabes. Una de estas variaciones la constituyen los picos (máximos) que se observan en cada una de las curvas. En el jarabe de azúcar, dicho punto se encuentra a los 120 minutos de proceso, para la panela a los 160 minutos y para la miel a los 200 minutos.

Estos puntos máximos muestran que efectivamente existe un flujo de agua hacia la solución osmótica con el equivalente movimiento de sólidos hacia la fruta ya que ellos

representan un aumento parcial del contenido de humedad en medio del proceso de deshidratación. Luego que se alcanzan estos puntos, la salida de agua continúa hasta alcanzar su valor final (menor contenido de humedad registrado) a los 240 minutos de proceso.

Durante el procesamiento osmótico es importante controlar variables tales como: tipo de agente osmótico, concentración del agente osmótico, tiempo de inmersión de la fruta en el jarabe. La estabilización de la pérdida de humedad en los primeros cuarenta minutos de proceso osmótico podría ser un factor de importancia económica para el procesamiento Osmoica (Osmosis-Aire Caliente) del zapote, debido a que en un tiempo relativamente corto se logra alcanzar una reducción considerable del contenido de agua de la materia prima.

Como se mencionó en la sección de antecedentes, los dos principales intercambios que se están llevando a cabo durante la deshidratación osmótica son: la ganancia de sólidos por parte del tejido de la fruta y el consecuente traslado del agua hacia la fase con menor actividad acuosa; los resultados de ambos fenómenos pueden visualizarse en la Gráfica 3. Se observa que la pérdida de agua con ayuda de los tres agentes osmóticos es muy parecida durante los primeros cuarenta minutos de proceso, a partir de este momento las curvas se separan y se comportan de formas distintas hasta alcanzar un

porcentaje final alrededor del 25%, en cuatro horas de procesamiento.

Si bien es cierto este porcentaje de pérdida de humedad pareciera muy por debajo de otros datos de deshidratación para estudios con otras frutas, se debe recordar que los tejidos celulares y su permeabilidad suelen variar bastante en las frutas tropicales. Además debe considerarse el tiempo relativamente corto de procesamiento osmótico (en comparación con otros estudios de deshidratado) al que se está sometiendo la fruta.

En cuanto a la ganancia de sólidos se cuantificó una migración de sólidos de la fruta hacia los jarabes, valores menores de 0 que se observan en la gráfica durante los primeros 160 minutos de proceso. De aquí en adelante se cuantificó un aumento parcial en el ingreso de soluto en el tejido del zapote.

Finalmente, sólo la fruta inmersa en el jarabe de azúcar muestra una ganancia neta de sólidos de aproximadamente 10%, mientras los jarabes de miel y panela no mostraron ni pérdida ni ganancia de soluto.

En términos de presentación final del producto, la ganancia neta de sólidos por parte de la fruta sumergida en el jarabe de azúcar puede significar una fruta más dulce y con una textura más blanda que las otras dos (fruta sumergida en miel y en panela).

Otro resultado importante de la ganancia neta de sólidos es la reducción de la actividad de agua en el tejido de la fruta, lo que contribuye a una mejor protección contra la actividad degradativa de los microorganismos y por consiguiente un tiempo de vida de anaquel más prolongado.

La pérdida de peso durante el proceso osmótico fue otro de los parámetros que se estudiaron, las curvas promedio de la evolución en el peso se muestran en la Gráfica 4.

En los tres agentes osmóticos se observa una disminución rápida en los primeros cuarenta minutos de proceso. Termodinámicamente hablando, en este período la pérdida de agua por parte de la fruta y la incorporación de soluto se están llevando a cabo a la tasa máxima; sin embargo, la velocidad a la cual el agua está moviéndose hacia el jarabe es mucho mayor que la velocidad con la que el soluto está ingresando al tejido, observándose la acentuada pérdida de peso. En el resto de tiempo del proceso osmótico los trozos de fruta en los jarabes se ven sometidos a fuerzas impulsoras distintas, provocando un distanciamiento entre las curvas. Al final del tratamiento las líneas de proceso convergen alrededor del 25%, tal como ocurrió en la cuantificación de la pérdida de agua.

El proceso completo de deshidratado, es decir, un pretratamiento osmótico seguido de un tratamiento con aire caliente para las piezas de pulpa de zapote puede observarse

en la Gráfica 5, ambas etapas separadas por la línea punteada.

Puede notarse que al finalizar las cuatro horas de la etapa osmótica la pérdida de peso (pérdida de humedad) ha sido entre 23-25%, a partir de este momento las piezas de fruta fueron colocadas en el deshidratador de bandejas para ser sometidas a flujos horizontales y verticales de aire caliente por espacio de cuatro horas más.

La etapa de deshidratado con aire caliente tiene como objetivo reducir el contenido de humedad de la fruta para transformarla de un producto con humedad intermedia a un producto con un porcentaje acuoso entre 10-15%, rango en el cual se considera que la fruta tendrá una vida de anaquel estable; es decir, que en condiciones adecuadas de almacenamiento será poco propensa a reacciones de descomposición.

Los porcentajes de pérdida de peso alcanzados por la fruta en el proceso completo (Osmosis-Aire Caliente) con los tres agentes osmóticos son: 93%, 90% y 88% para azúcar, miel y panela, respectivamente.

En términos generales se observan mejores resultados de deshidratación para la fruta tratada con el sistema ósmosis-azúcar, seguida de la fruta procesada con el sistema ósmosis-miel; aunque ésta última se comporta de una forma muy similar a la fruta tratada con el sistema ósmosis-panela en la etapa

de aire caliente. Debido a la relativamente poca diferencia en los porcentajes de pérdida de humedad entre las frutas procesadas con los tres agentes osmóticos, la elección del agente más efectivo deberá considerar otros factores, por ejemplo: Aceptación por parte del consumidor y capacidad de rehidratación.

Las piezas de zapote deshidratado con el sistema Osmoalca (ósmosis y aire caliente) utilizando cada uno de los tres agentes osmóticos seleccionados (panela, miel y azúcar) fueron almacenadas en recipientes de vidrio cerrados para los análisis físicos, sensoriales y de vida útil de anaquel.

Entre las características más importantes que debe retener un producto después de ser sometido a un proceso de deshidratado se puede mencionar: sabor, color, textura y olor. A su vez la nueva estructura fisicoquímica del producto debe contar con buenas características de manejo, almacenaje y rehidratabilidad.

Una parte de los productos procesados fue usada para el análisis de características organolépticas por medio de un panel de análisis sensorial, mientras que otra parte fue utilizada para pruebas de rehidratación y almacenaje.

Las pruebas de rehidratación se realizaron colocando porciones conocidas de la fruta en recipientes y agregándoles agua, cuantificando la ganancia de peso del producto deshidratado en un tiempo determinado (60-70 minutos).

La relación entre la fruta y el agua fue de 1 a 5, es decir, por cada porción de zapote deshidratado se colocaron 5 partes de agua. Se realizaron pruebas con agua a tres temperaturas diferentes: Temperatura ambiente (20-21° C), agua fría (9° C) y agua caliente (45° C). Ver Gráficas 6-8.

En la Gráfica 6 puede observarse la hidratación de la fruta con agua templada, la porción tratada osmóticamente con miel es la que logra rehidratarse en mayor proporción (se logra rehidratar en un 100%), mientras que las porciones de panela y azúcar logran rehidratarse hasta un 88%. La absorción de entre el 40-50% del agua por parte del tejido de la fruta se llevó a cabo en los primeros 10 minutos de proceso.

En la Gráfica 7 se muestra la rehidratación al utilizar agua fría, en estas condiciones la fruta necesita un período de tiempo más largo para lograr rehidratarse. Se observa un comportamiento muy parecido entre la fruta tratada con azúcar y con panela, mientras que la fruta tratada con miel logra la mejor absorción de agua.

Las mejores condiciones para la rehidratación del producto se obtuvieron con el uso del agua caliente. Probablemente el incremento de la temperatura facilita la reacomodación de los tejidos que a su vez permiten un ingreso más rápido del agua en los espacios intersticiales y cavidades de las membranas celulares. En los primeros 10

minutos de proceso se logra la absorción de aproximadamente un 60% del agua de rehidratación, los resultados pueden observarse en la Gráfica 8.

En términos generales se notó una mejor rehidratación para la fruta tratada osmóticamente con miel. Al parecer el uso de este producto permite que el tejido celular de la pulpa quede parcialmente perforado o estructurado de tal forma que lo habilita para ser rehidratado fácilmente.

Le sigue en orden de rehidratabilidad la fruta tratada con azúcar y, finalmente, el producto de panela que en los tres casos (agua a temperatura ambiente, agua fría y agua caliente) resultó ser el menos propenso a absorber humedad.

Una posible explicación para los datos obtenidos con panela es que este tipo de azúcar es poco refinado y su contenido de minerales es alto, lo que podría impedir el libre flujo de moléculas de agua hacia el tejido de la fruta.

Se realizaron pruebas de rehidratación con tres temperaturas diferentes para simular el uso del producto en condiciones de procesamiento distinto. Por ejemplo el uso de agua a temperatura ambiente puede semejar el uso de la fruta deshidratada en la formulación de pastas o purés que se pueden consumir como golosinas. Por otro lado, la rehidratación con agua a temperatura de refrigeración puede mostrar las características del producto en el caso que se utilizara en la formulación de cereales, helados o postres

fríos. Finalmente, la rehidratación con agua caliente se usó para simular el uso de los productos de zapote deshidratado como ingrediente en industrias de panificación y/o pastelería donde generalmente las materias primas se cocinan u hornean.

Como se mencionó arriba, la fruta deshidratada debe retener ciertas características naturales de la materia prima después de ser procesada. Para verificar el efecto final del procesamiento Osmoica en el zapote, se realizó un análisis sensorial con un panel de personas no entrenadas.

El análisis sensorial consistió en examinar las preferencias de los consumidores hacia la fruta deshidratada por los cuatro sistemas: Osmoica-panela, Osmoica-miel, Osmoica-panela y zapote deshidratado sólo con aire caliente (Aica).

La primera etapa consistió en pasar una encuesta tal como la que se muestra en la Figura 9 del Anexo A (prueba de diferenciación para clasificación) para determinar los dos productos más gustados y luego utilizarlos en una formulación de relleno para pies. Los resultados de esta primera encuesta se muestran en la Tabla 2.

Se observa que la mayoría de los nueve panelistas calificaron en primer lugar de preferencia a la muestra deshidratada con el sistema Osmoica-azúcar, en segundo lugar la muestra Osmoica-miel, en tercero Osmoica-panela y por último la fruta deshidratada sólo con aire caliente.

Luego de analizar estadísticamente los resultados por

medio de un análisis de varianza (ANDEVA), se comprobó que las muestras eran significativamente diferentes, ya que la relación de varianza (valor F) calculada fue mayor a la relación de varianza teórica, tal como se muestra en los resultados de la Tabla 2. Para determinar entre cuáles muestras existía diferencia, se procedió a utilizar la prueba de Rangos Múltiples de Duncan.

Se encontró que no existía diferencia significativa entre las muestras Osmoica-miel y Osmoica-azúcar, que a la vez fueron las que más gustaron. Por otro lado, se determinó que el zapote Osmoica-panela fue significativamente diferente a las demás muestras y gustó poco. El zapote deshidratado sólo con aire caliente fue significativamente diferente y el menos apreciado de las cuatro muestras.

En conclusión se determinó usar el zapote tratado con azúcar y con miel para la elaboración del relleno para pie. Se elaboró la masa, se dividió en tres porciones, cada una de las cuales se relleno con una muestra diferente. Una porción se relleno con fruta deshidratada por el sistema Osmoica-miel, otra con fruta tratada con el proceso Osmoica-azúcar y otra porción con pulpa fresca de zapote. Es importante señalar que la fruta deshidratada usada en el relleno de los pies fue sumergida en agua a temperatura ambiente por espacio de 5 minutos antes de agregarla a la masa, ya que se utilizó una formulación de masa cuyo porcentaje de agua es muy bajo,

lo que podía influir en el resultado final del producto elaborado.

Para determinar las preferencias de los consumidores respecto de los pasteles se utilizó un tipo de encuesta muy parecido al usado en la clasificación de los cuatro tipos de fruta deshidratada (azúcar, miel, panela y aire caliente). La diferencia es que en este caso el consumidor determina sus preferencias clasificándolas en orden: Primero, segundo y así sucesivamente. Ver Figura 10 del Anexo A.

Los resultados de esta encuesta se muestran en la Tabla 3.

Después de analizar estadísticamente los datos, se encontró que no existía diferencia significativa, ya que la relación de varianzas (valor F) calculada fue menor al valor F teórico, como se muestra en la tabla.

Se encontró que no existía diferencia significativa entre el pastel que contenía fruta deshidratada con el sistema Osmoica-azúcar y el que estaba relleno con fruta Osmoica-miel. Además, se determinó que el pastel que tenía relleno de fruta sin tratar (pulpa fresca) era menos apreciado.

Se concluye así que los panelistas prefirieron los pasteles con fruta tratada osmóticamente y que el uso de los agentes osmóticos no ocasionaron diferencias detectables en la fruta que se utiliza en rellenos para pasteles.

VII. CONCLUSIONES

- A. El zapote es una fruta tropical exótica que ofrece un alto contenido de pulpa, susceptible de ser deshidratada por un sistema combinado de ósmosis y aire caliente.
- B. El 64% del peso total de la fruta de zapote lo constituye la pulpa, la cual contiene aproximadamente 57.4% de humedad.
- C. La deshidratación de la pulpa de zapote por medio de aire caliente permite la remoción del 65-70% de la humedad en ocho horas de proceso; sin embargo, las características finales del producto no son las más adecuadas.
- D. El tratamiento osmótico de las piezas de zapote permite la reducción del 25-30% de humedad de la fruta en cuatro horas de proceso, añadiéndole características especiales a la pulpa.
- E. La estabilización de los intercambios de agua y sólidos entre la fruta y la solución osmótica (jarabe) circundante, se realizan a tiempos diferentes para cada agente osmótico (azúcar, miel, panela).

- F. La ganancia neta de sólidos sólo se observó en la fruta procesada osmóticamente con azúcar de mesa, el contenido final de soluto que migró hacia la fruta fue de 10%.
- G. La pérdida de peso por parte de la fruta en el tratamiento osmótico, fue similar para los tres agentes: Azúcar, panela y miel. Aproximadamente se logró una reducción del 25% del peso de la pulpa en cuatro horas de inmersión en los jarabes.
- H. La fruta procesada con el sistema Osmoica-miel ofreció los mejores resultados en las pruebas de rehidratación con agua a las tres temperaturas de trabajo: 20°C, 9°C, 45°C.
- I. La fruta procesada con el Sistema Osmoica-panela ofreció las mayores dificultades para rehidratación a las tres temperaturas de trabajo.
- J. Durante las pruebas de análisis sensorial, los panelistas mostraron su preferencia por las piezas de zapote tratadas con el Sistema Osmoica-azúcar y Osmoica-miel, cuando éstas se consumen como golosinas.
- K. Los panelistas mostraron su preferencia por los pasteles rellenos con fruta procesada con el Sistema Osmoica

(azúcar y miel) sobre los pasteles rellenos con fruta sin tratar (pulpa fresca).

L. Los productos de zapote deshidratado mostraron estabilidad y retención de buena calidad por tres meses en recipientes herméticos de vidrio.

M. A través de la deshidratación por medio de un sistema combinado de ósmosis y aire caliente se pueden obtener productos de buena calidad provenientes de frutas temporales o estacionarias, por ejemplo: Zapote, chico y mango.

VII. RECOMENDACIONES

- A. El subproducto resultante en el proceso osmótico es un sirope (jarabe) parcialmente diluido con trazas de ácidos orgánicos, sales y residuos de aromas y sabores. Como se mencionó en este trabajo, estos siropes pueden ser usados como materias primas en industrias paralelas al deshidratado osmótico: confitería, bebidas, pastelería. En esta investigación algunos de los subproductos se utilizaron para la elaboración de refrescos. Se recomienda un estudio de usos, factibilidad y economía de los residuos de los sistemas combinados de deshidratación que incluyen el tratamiento osmótico.
- B. Existen varias posibles combinaciones para obtener sistemas de deshidratado de frutas. Se sugiere, en el caso de la deshidratación de piezas de zapote, el uso de sistemas combinados, como los siguientes: Osmosis-deshidratación en horno de vacío (Osmovac) y Osmosis-deshidratación solar (Osmosol).
- C. Se sugiere el estudio del comportamiento de las piezas deshidratadas de zapote en recipientes y contenedores plásticos o de otros materiales diferentes al vidrio, por ejemplo: Bolsas plásticas, bolsas de polietileno, films para empacar alimentos. Se recomienda verificar tiempos

de vida útil y desarrollo de reacciones de descomposición de fruta deshidratada contenida en estos materiales.

D. Es importante continuar el estudio sobre zapote clasificando los pigmentos encontrados en las pulpas de las dos variedades de fruta que se encuentran en Guatemala. Se recomienda un análisis colorimétrico o cromatográfico.

E. Se sugiere un estudio microscópico de las pulpas de zapote crudas y procesadas para verificar cambios estructurales de los tejidos durante el procesamiento.

IX. BIBLIOGRAFIA

1. Adesina, A. A. and J. O. Aina. 1990. Preservation of African star apple fruits (*Chrysophyllum albidum*) by osmotic dehydration. Tropical Science . 30: 249-253.
2. Badui Dergal, Salvador. 1988. Diccionario de Tecnologia de Alimentos . Primera Edición. Editorial Alhambra Mexicana, S.A. México, D.F. 300 pp.
3. Batty, J. C. y Steven L. Folkman. 1990. Fundamentos de la Ingenieria de Alimentos . C.E.C.S.A. México, D.F. 319 pp.
4. Bolin, H. R., et al. 1983. Effect of Osmotic Agents and Concentration on Fruit Quality. Journal of Food Science Vol. 48. 202-205.
5. Bourne, M. C. 1987. Postharvest handling of fresh and dried tropical products. Food Technology . May, 120-122.
6. Carr, R. L. 1969. Particle Size and Shape. Chemical Engineering . October. 7-15
7. Charley, H. 1989. Tecnologia de Alimentos . Editorial Limusa, México, D.F. pp 767.

8. Chung, D. S. and D. I. Chang. 1982. Principles of Food Dehydration. Journal of Food Protection . Vol. 45. No. 5. April, 475-478.
9. Cunningham, F. E. 1982. Practical Applications of Food Dehydration: A Review. Journal of Food Protection . Vol. 45. No. 5. April, 479-483.
10. De León, S. Y., et al. 1992. Fruits & Vegetables Dehydration Manual . National Book Store Inc. Publishers, Metro Manila. Philippines.
11. Desrosier, N. W. 1989. Conservación de Alimentos . Decimoséptima impresión. C.E.C.S.A. México, D.F. 468 pp.
12. Erickson, L. E. 1982. Recent Developments in Intermediate Moisture Foods. Journal of Food Protection . Vol. 45. No. 5. April, 484-491.
13. Farkas, D. F. and M. E. Lazar. 1969. Osmotic Dehydration of Apple Pieces: Effect of Temperature and Syrup Concentration on Rates. Food Technology . Vol. 23. May, 688-690.

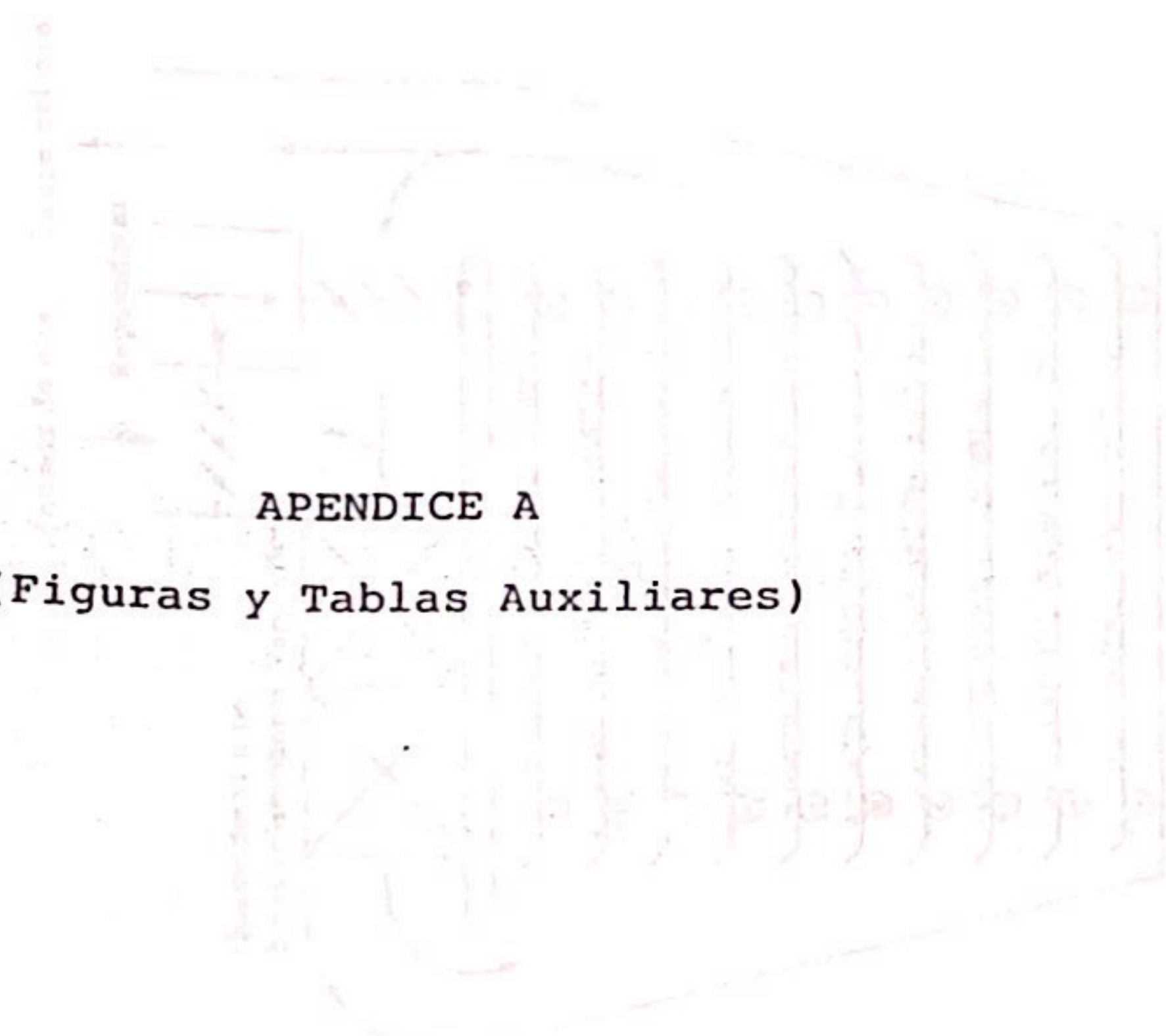
14. Hawkes, J. and James M. Flink. 1978. Osmotic Concentration of Fruit Slices Prior to Freeze Dehydration. Journal of Food Processing and Preservation 2 . 265-284.
15. Hope, G. W. and Vitale, D. G. 1972. Osmotic Dehydration: a cheap and simple method of preserving mangoes, bananas and plantains (IDRC-004E). International Development Centre. Ottawa, Canada.
16. Jamieson, M. y Peter Jobber. 1991. Manejo de los alimentos . Vol. 2. Editorial Pax-México. pp 215-221, 227-235.
17. Larmond, E. 1970. Methods for Sensory Evaluation of Food Publication 1284. Canada Department of Agriculture. 57 pp.
18. Lerici, C. R., et al. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. Journal of Food Science . Vol. 50. 1217-1226.
19. Maggard, P. D. 1982. Practical Approaches to Home Food Dehydration. Journal of Food Protection . Vol. 45.

No. 5. April, 492-494.

20. Menchú. J. F. Deshidratación de Frutas Tropicales por Osmosis. 1973. Anales del Seminario Avanzado de Tecnología de Alimentos. Bogotá, D.E. Colombia.
21. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Dirección General de Servicios Agrícolas. Dirección Técnica de Sanidad Vegetal. Departamento de Cuarentena Vegetal. 1992. Estadísticas de Cuarentena Vegetal. GEXPRONT, Guatemala.
22. Mora-Iglesias, A. L. y Marta Bustamante-Mora. 1992. Efecto de la temperatura en la deshidratación osmótica de mango (*Mangifera indica* L, var Haden). Revista en Tecnología y Ciencia Alimentaria (Reviteca). Vol. 1. No. 2. Julio/Dic. 24-29.
- 23. Morton, J. F. 1991. Fruits of Warm Climates. Edited by Curtis F. Dowling, Jr. former of Plant Inspection, Bureau of Plant Industry. Florida Department of Agriculture & Consumer Services. pp 397-402.
24. Moy, J. H., et al. 1978. Effects of Sucrose and Acids on Osmovac-Dehydration of Tropical Fruits. Journal of Food

24. Processing and Preservation 2. 131-135.
25. Ponting, J. D., et al. 1966. Osmotic Dehydration of Fruits. Food Technology . 20 (10): 125-128.
26. Ponting, J. D. 1973. Osmotic Dehydration of Fruits - Recent Modifications and Applications. Process Biochemistry . December, 18-20.
27. Queensland Department of Primary Industries. 1984. Tropical Tree Fruits for Australia . Brisbane, Australia. pp 213-215, 345-347.
28. Rodriguez, A. L. and Humberto Vega-Mercado. 1991. Osmotic drying kinetics of pineapple and papaya. J. Agric. Univ P.R. Vol. 75. No.4. October. 371-382.
29. Szczeniak, A. S. Texture measurements. 1966. Food Technology 52-58.
30. Torreggiani, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International . 26: 59-68.

31. Uddin, M. S. and M. N. A. Hawlader. 1990. Evaluation of Drying Characteristics of Pineapple in the Production of Pineapple Powder. Journal of Food Processing and Preservation 14 . No. 5. October, 375-391.
32. Vega Mercado and Silvia-Negrón/Piña. 1991. Efectividad de preservativos durante el almacenamiento en productos de piña de humedad intermedia. J. Agric. Univ. P.R. Vol. 75. No. 4. October, 411-415.



APENDICE A
(Figuras y Tablas Auxiliares)

FIG 1. ILUSTRACION DE UN SECADOR DE PLATOS.

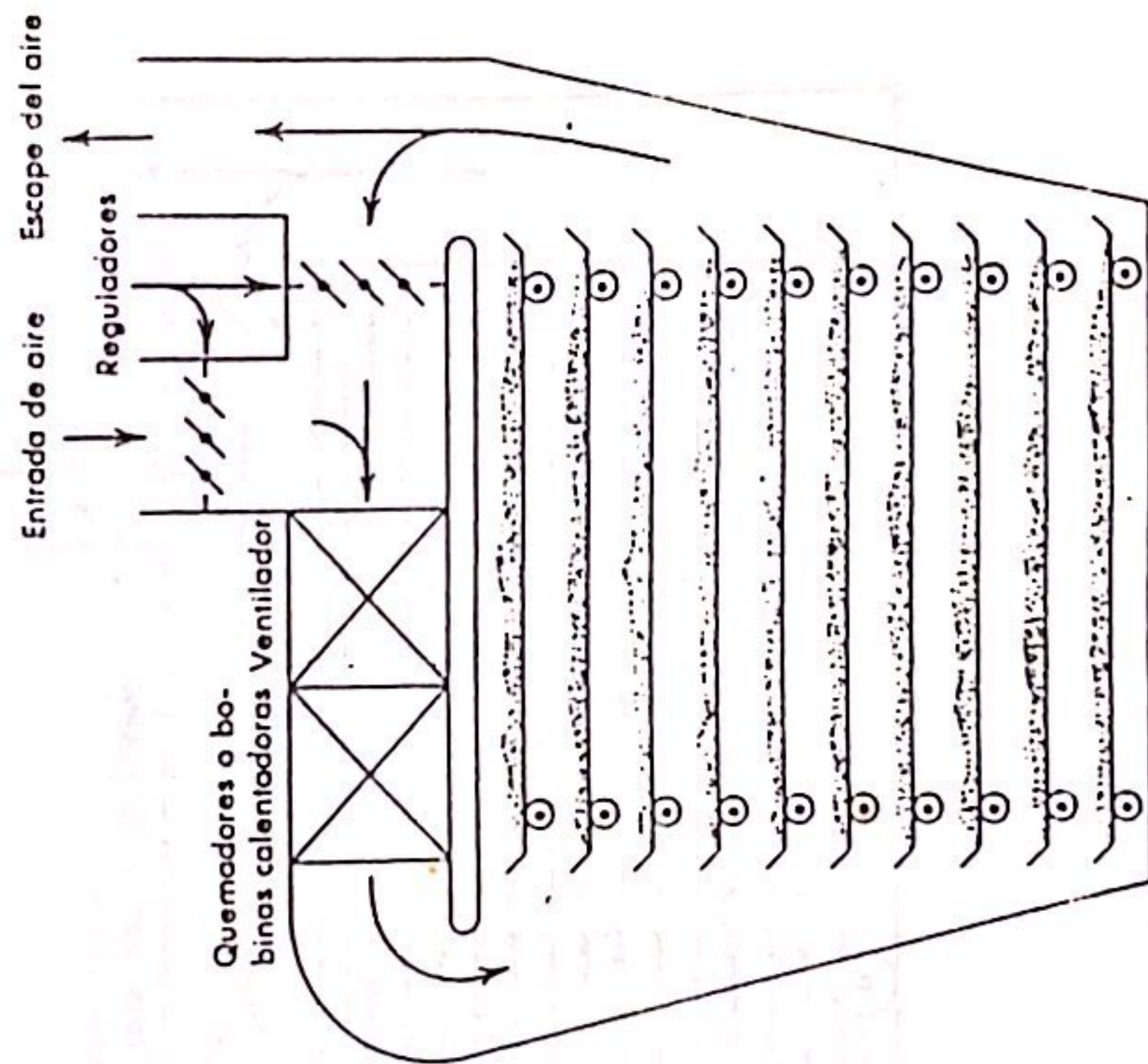


FIG 2. ILUSTRACION DE UN SECADOR DE TUNEL.

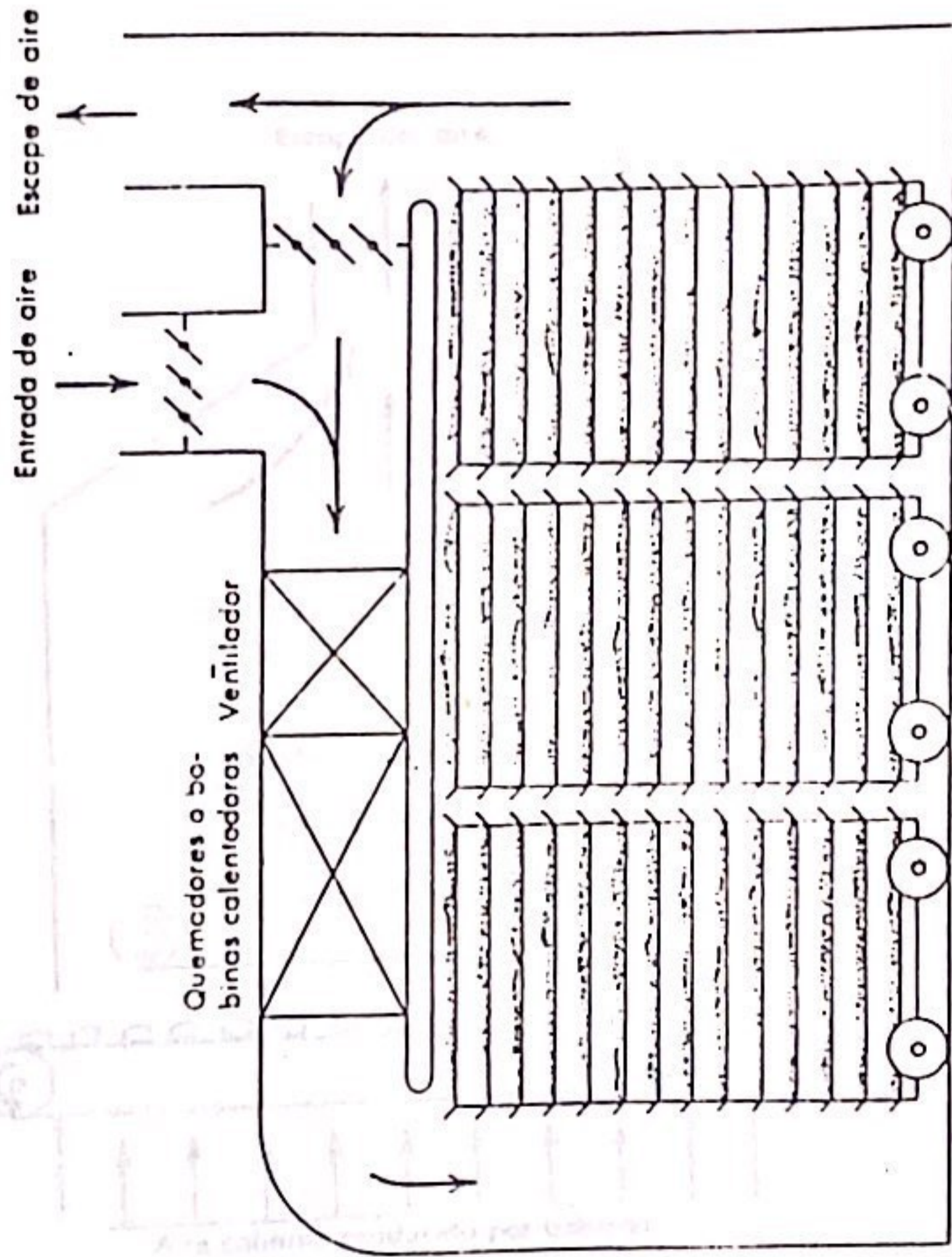


FIG 3. DISTRIBUCION DE UN SECADOR DE TUNEL.

FIG 3. ILUSTRACION DE UN SECADOR DE BANDA.

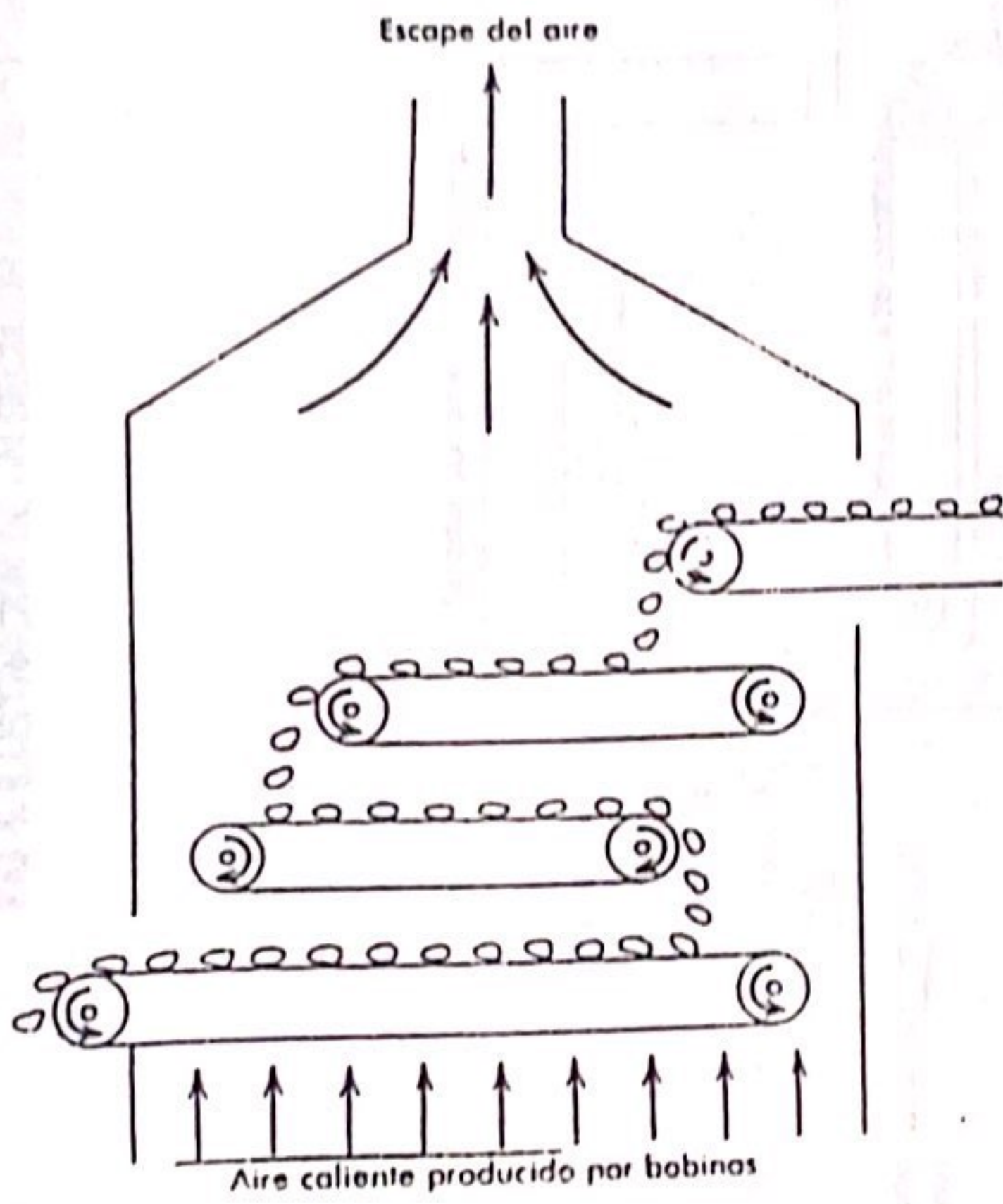


FIG 4. ILUSTRACION DE UN SECADOR POR ASPERSION HORIZONTAL.

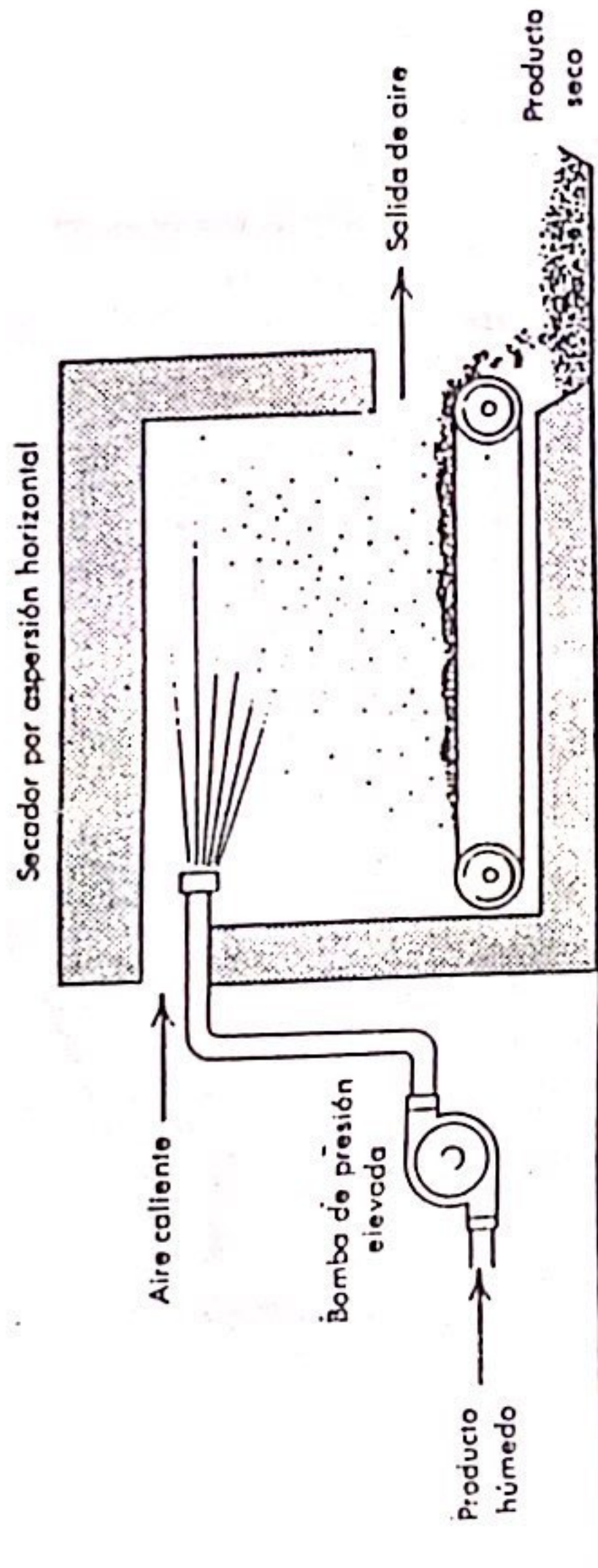


FIG 5. ILUSTRACION DE UN SECADOR POR ASPERSION VERTICAL.

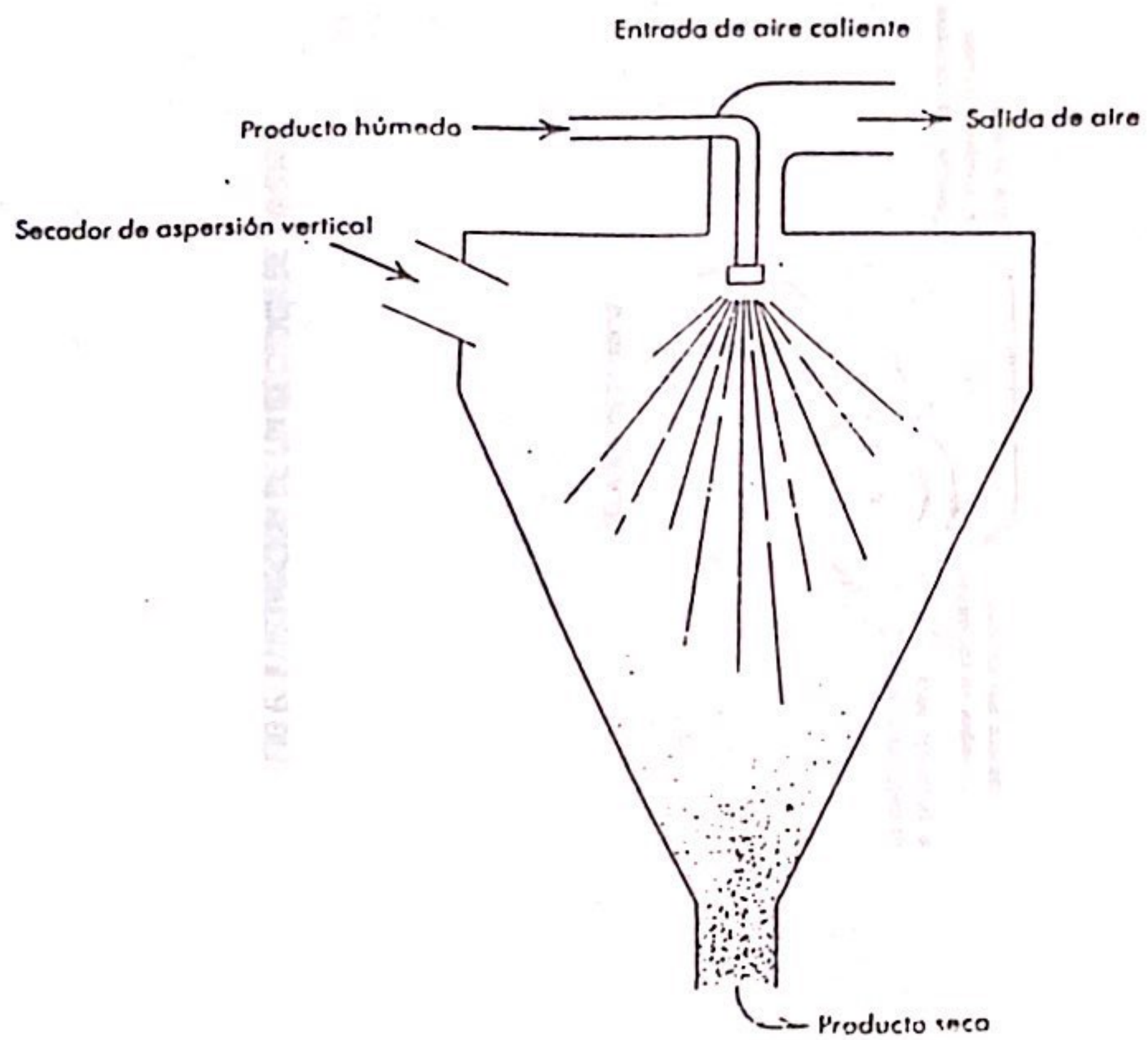
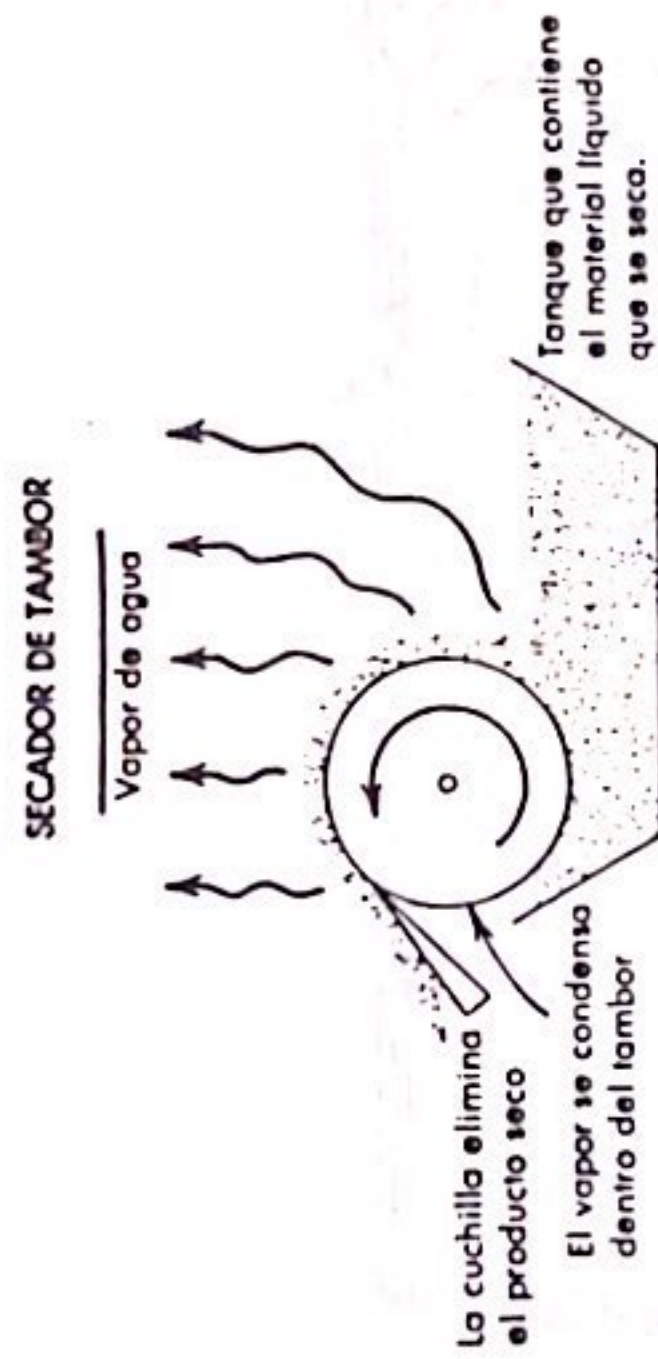


FIG 6. ILUSTRACION DE UN SECADOR DE TAMBOR.



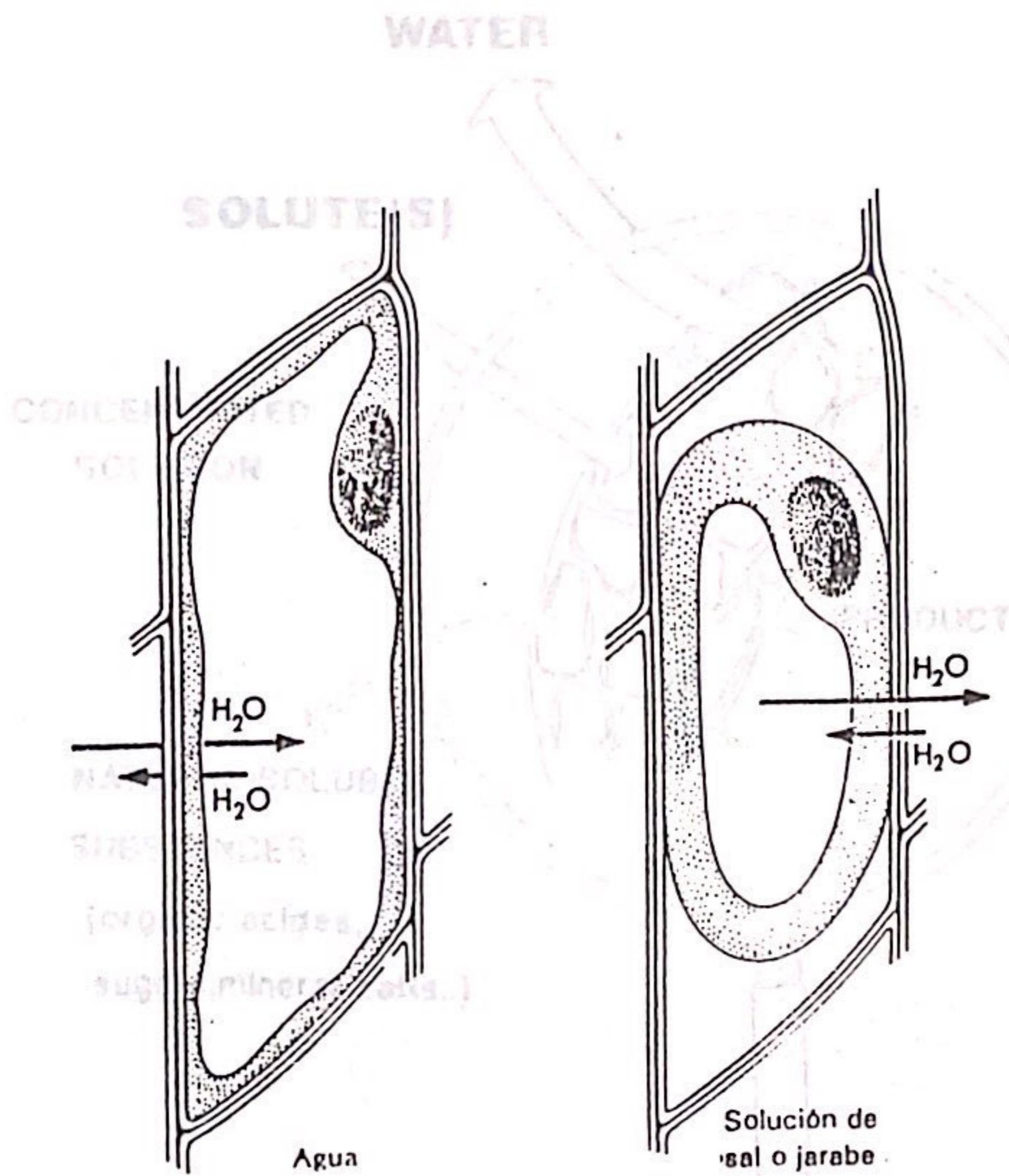


FIG 8. FENOMENO DE TRANSFERENCIA DE MASA DURANTE EL PROCESO OSMOTICO.

FIG 7. DIAGRAMA DE UNA CELULA TURGENTE.

TABLA I

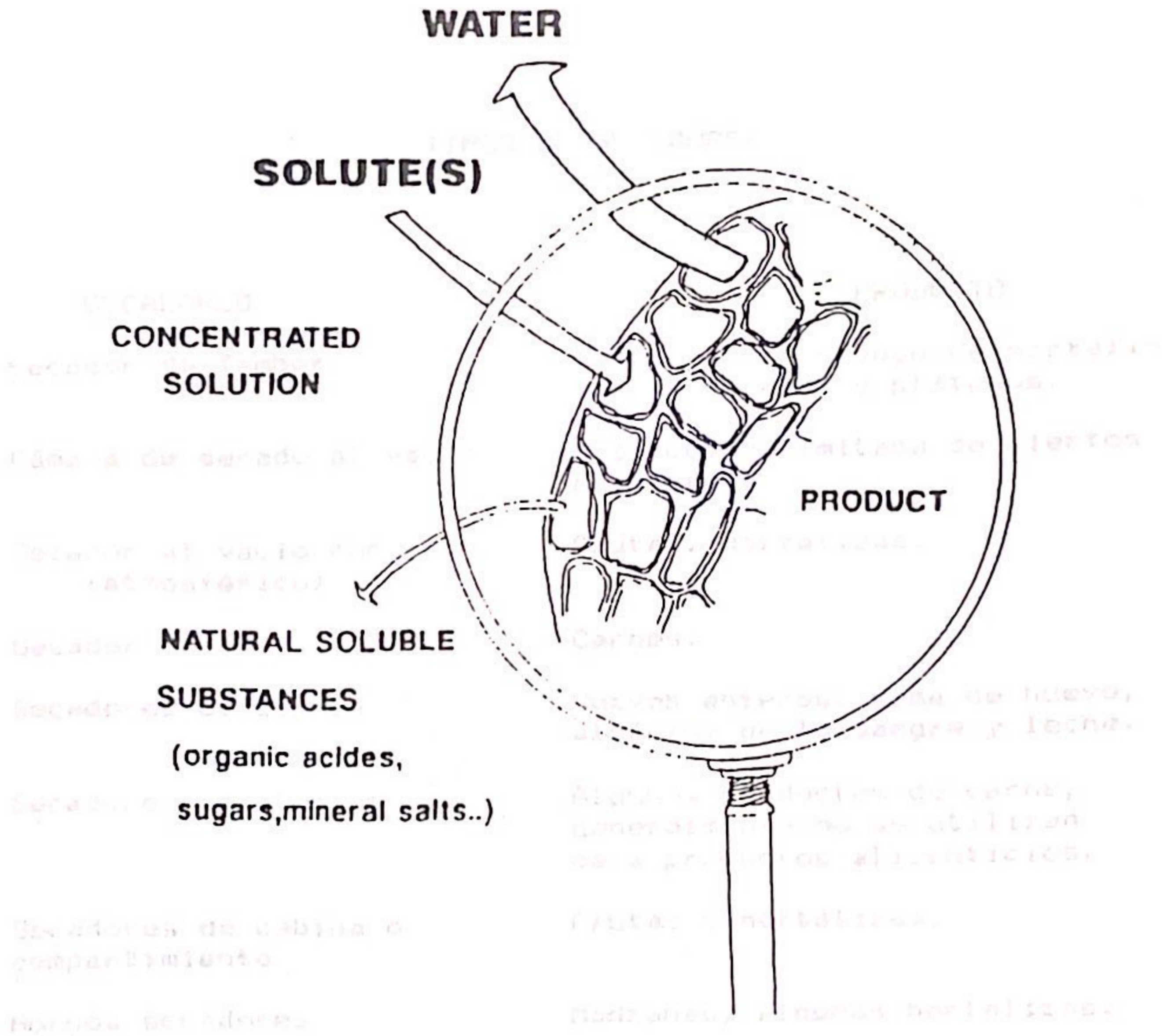


FIG 8. FENOMENO DE TRANFERENCIA DE MASA DURANTE EL PROCESO OSMOTICO.

TABLA 1

TIPOS DE SECADORES

SECADORES	PRODUCTO
Secador de Tambor	Leche, ciertos jugo de hortalizas, arándanos y plátanos.
Cámara de secado al vacío	Producción limitada de ciertos alimentos.
Secador al vacío continuo (atmosférico)	Frutas, hortalizas.
Secador congelado	Carnes.
Secadores de esprea	Huevos enteros, yema de huevo, albúmina de la sangre y leche.
Secadores rotatorios	Algunos productos de carne, generalmente no se utilizan para productos alimenticios.
Secadores de cabina o compartimento	Frutas y hortalizas.
Hornos secadores	Manzanas, algunas hortalizas.
Secadores de túnel	Frutas y hortalizas.

TABLA 2

TABLA 3

PRUEBA DE EVALUACION DE SABOR

ANALISIS DE PREFERENCIAS

Producto: Zapote Deshidratado Fecha: _____

Instrucciones: Califique las siguientes muestras de acuerdo al sabor. Por favor escriba el número de muestra que Usted cree tiene mejor sabor en el cuadro 1. La muestra que a su criterio le sigue en sabor en el cuadro 2, la siguiente en el cuadro 3 y la que tiene peor sabor en el cuadro 4.

PRIMERO

SEGUNDO

Mejor sabor: Cuadro 1 Peor sabor: Cuadro 4

1

2

3

4

TABLA 3

ANALISIS DE PREFERENCIA

Producto: Pie relleno con fruta deshidratada (zapote)

Fecha: _____

Instrucciones: Por favor clasifique las siguientes muestras de acuerdo a su preferencia.

Código

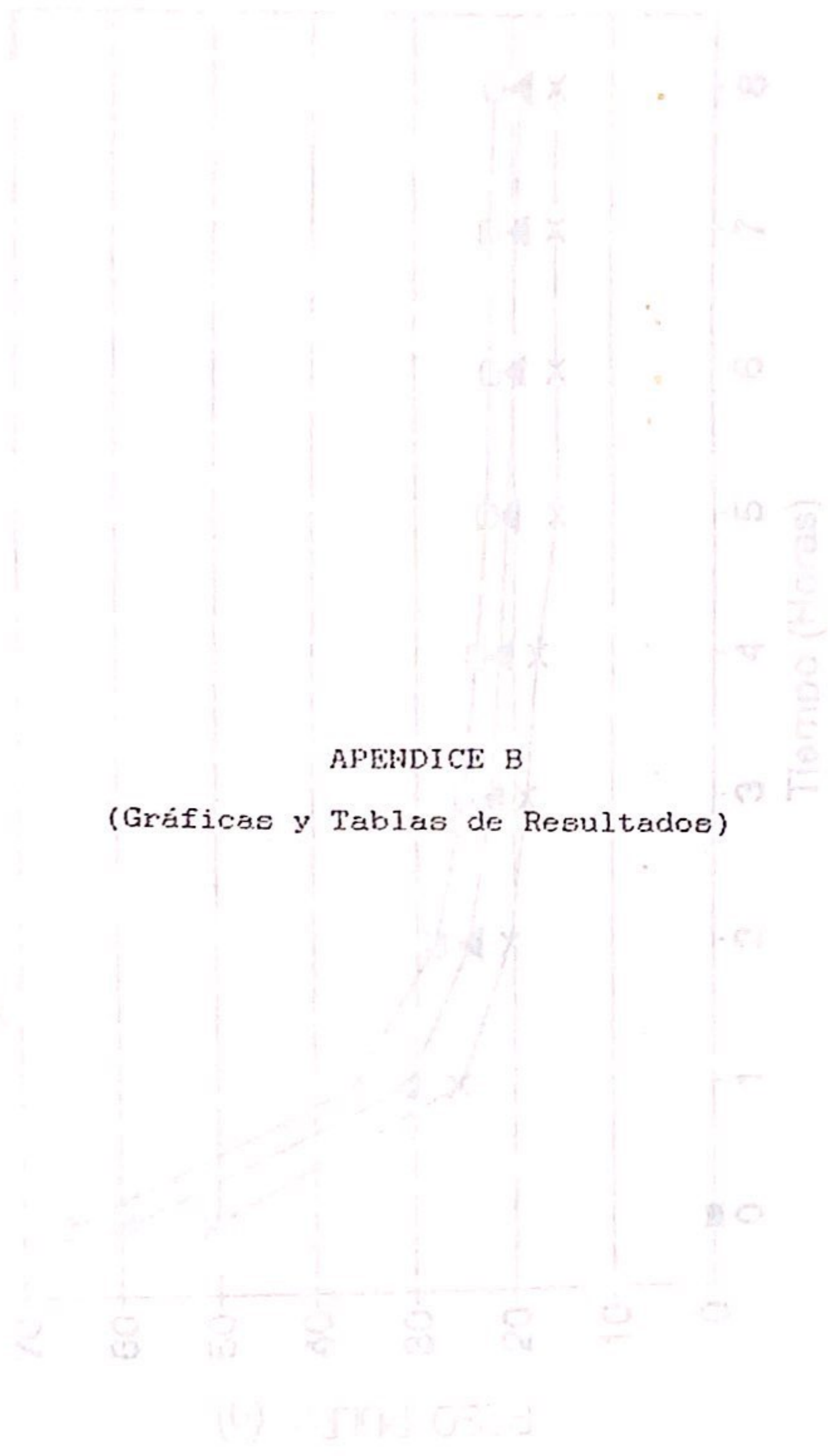
PRIMERO

SEGUNDO

TERCERO

GRAFICA CURVAS DE DESHIDRATADO

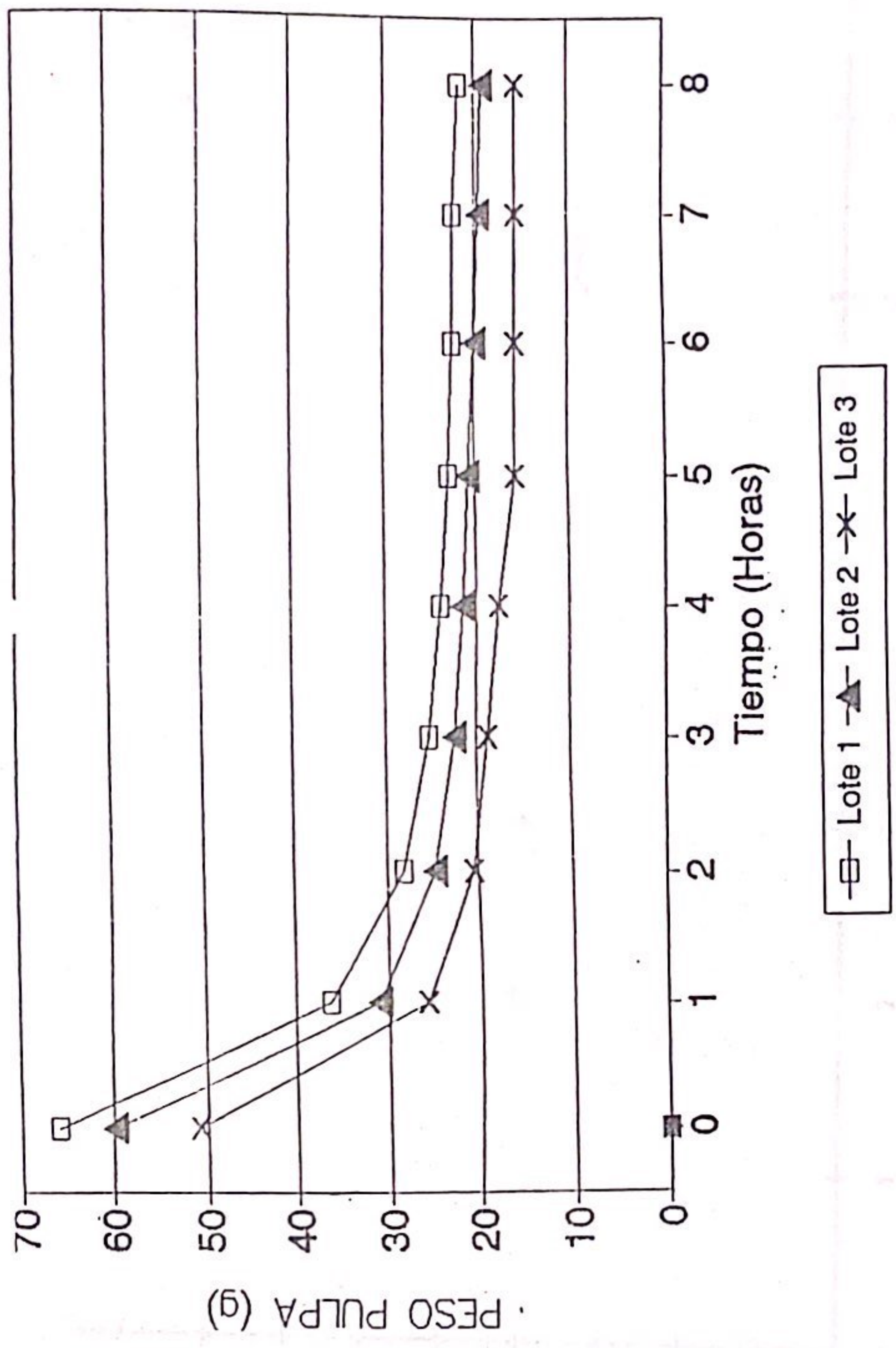
DE ZAPOTE



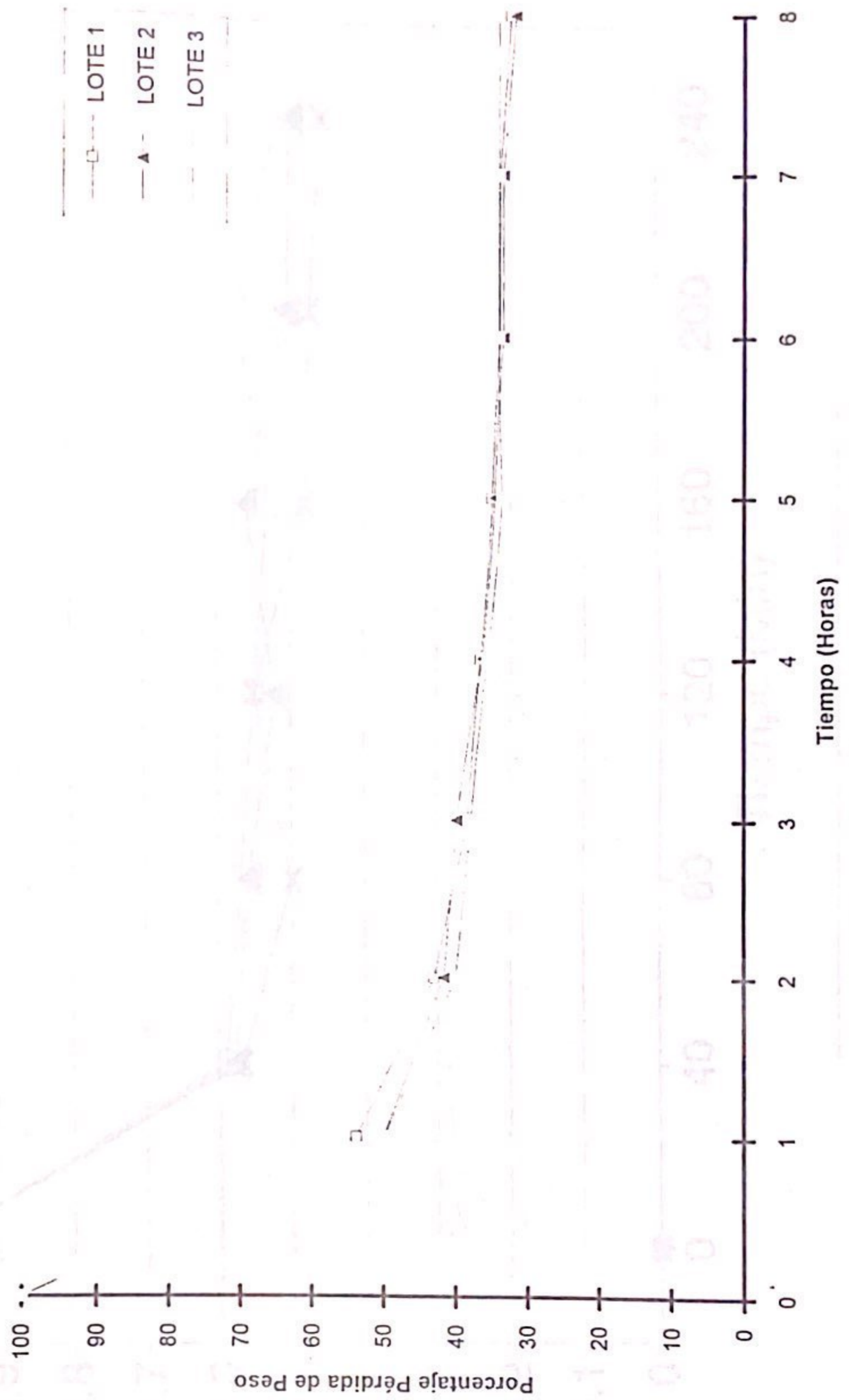
Lot 1 - Lot 2 - Lot 3

GRAF 1.A CURVAS DE DESHIDRATADO

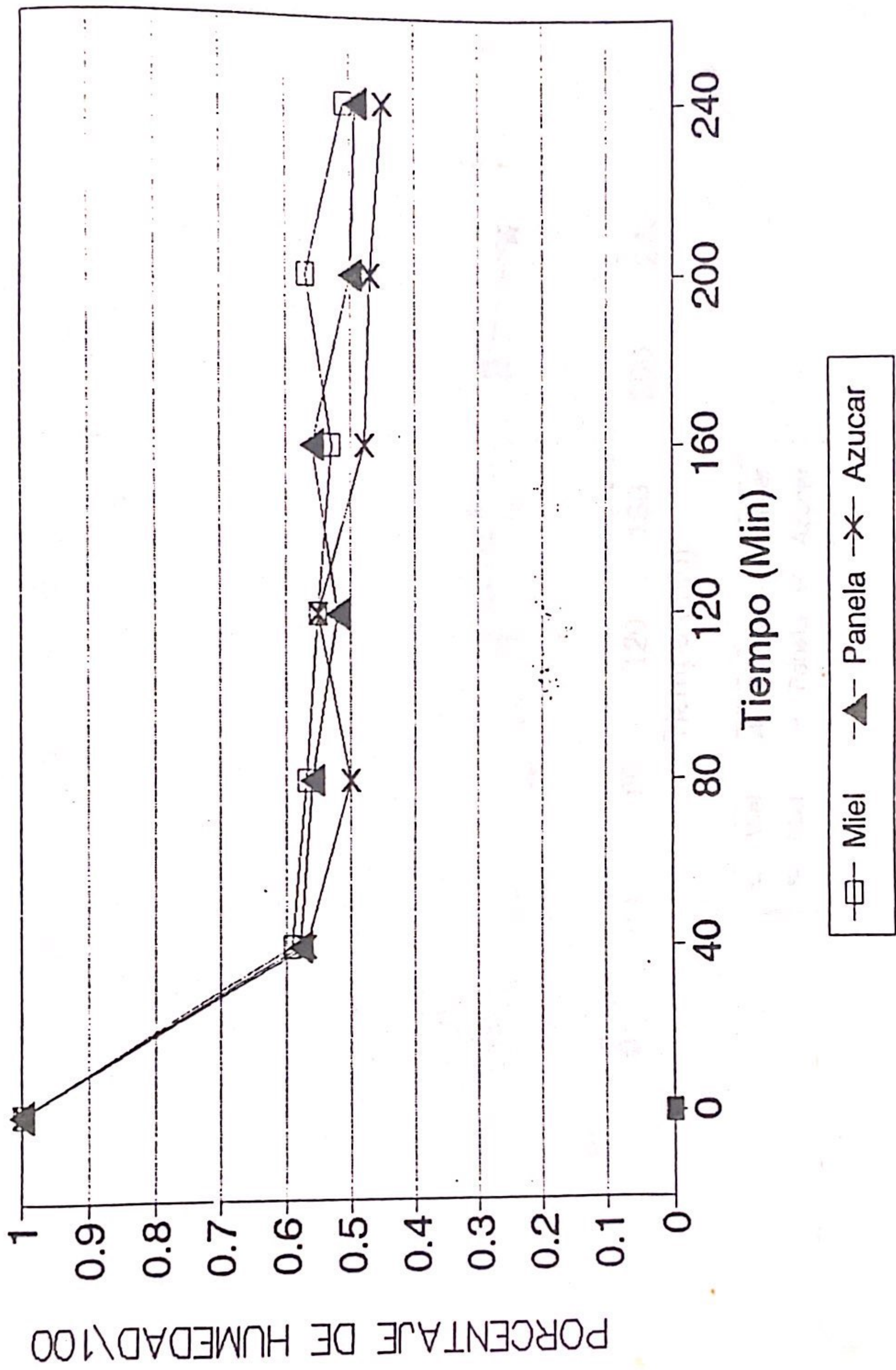
DE ZAPOTE



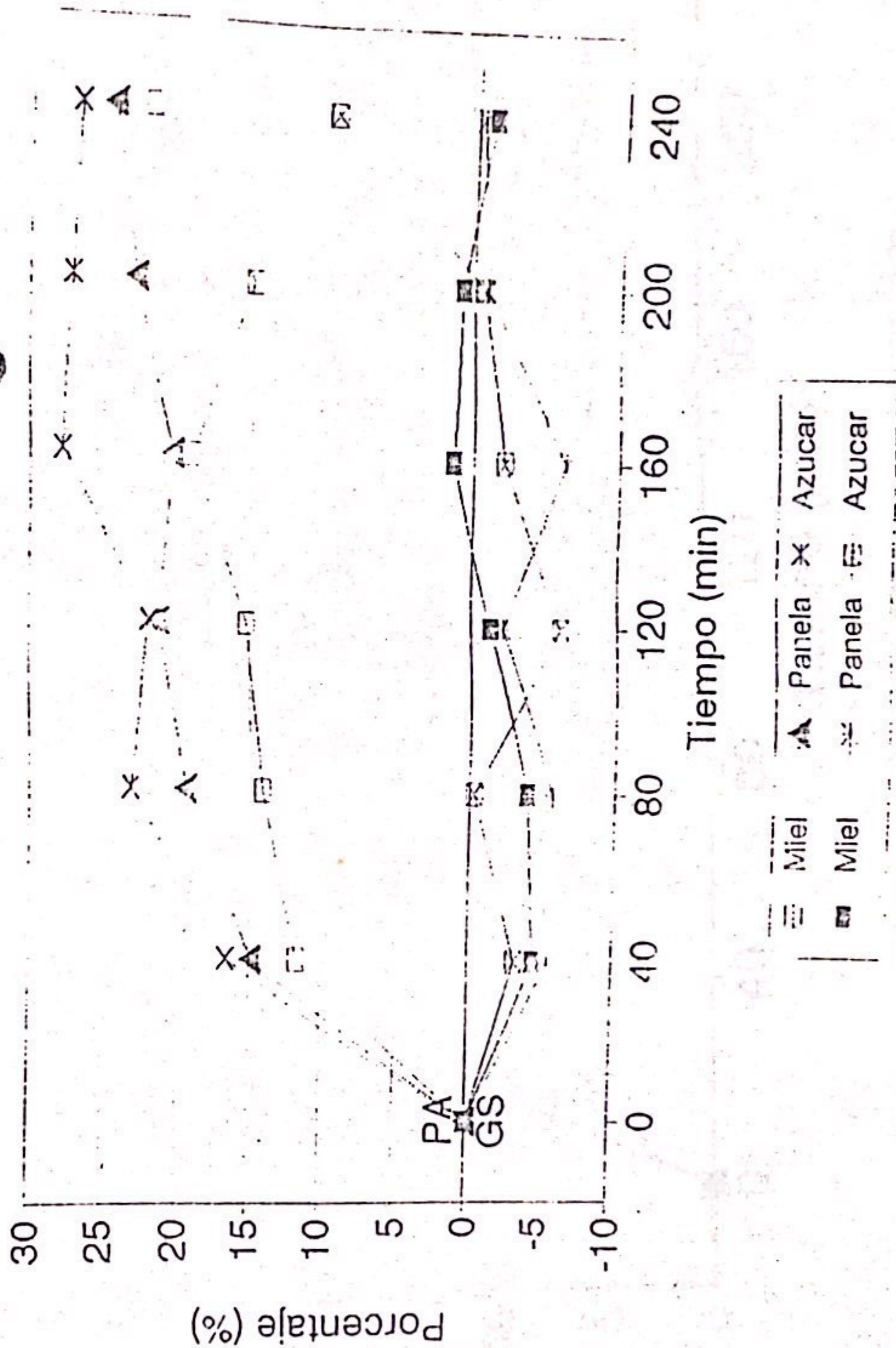
Graf 1.B Curvas de Deshidratado de Zapote



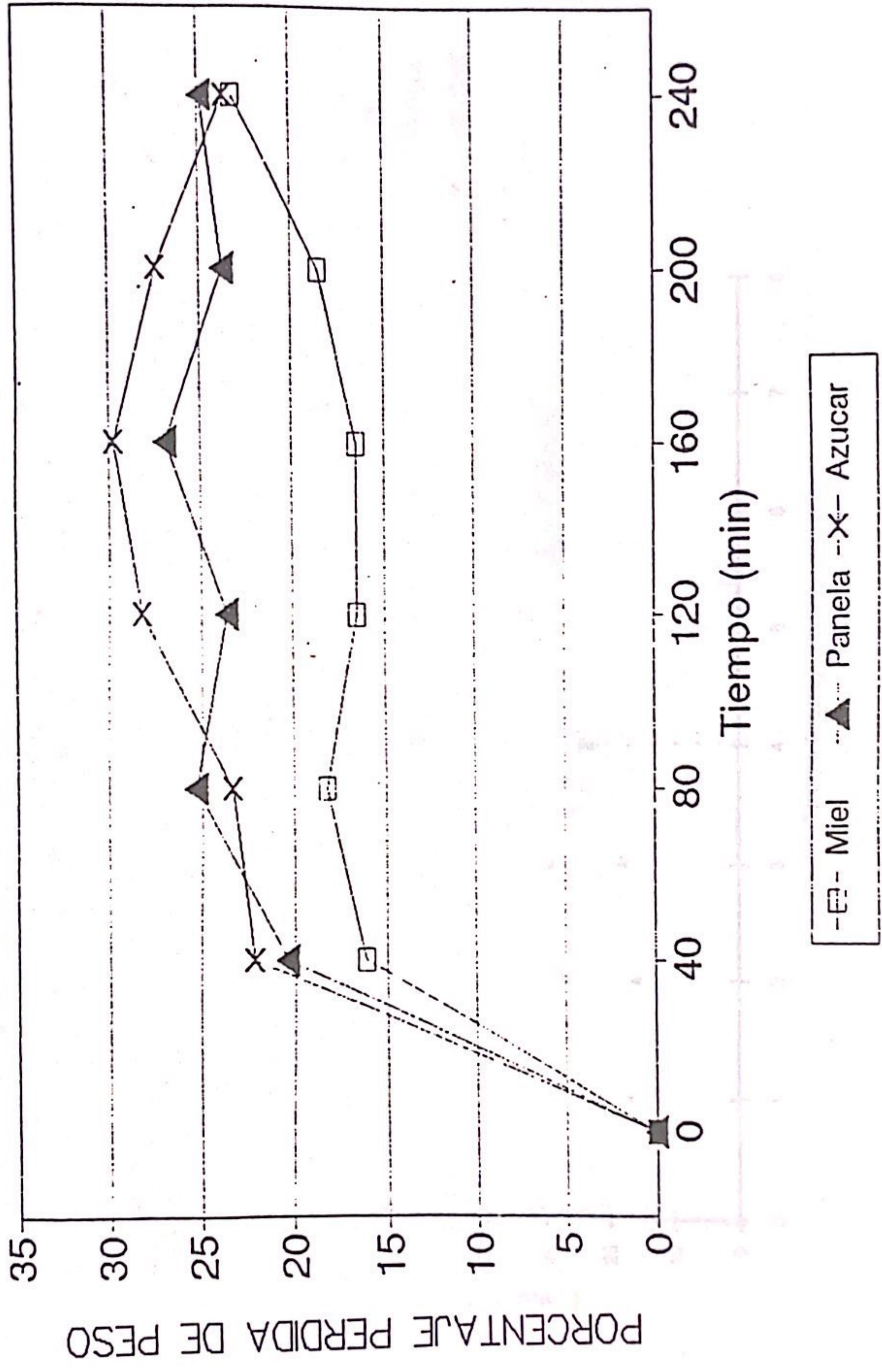
GRAF 2. Cinetica de Deshidratacion Osmotica
(Curvas Promedio)



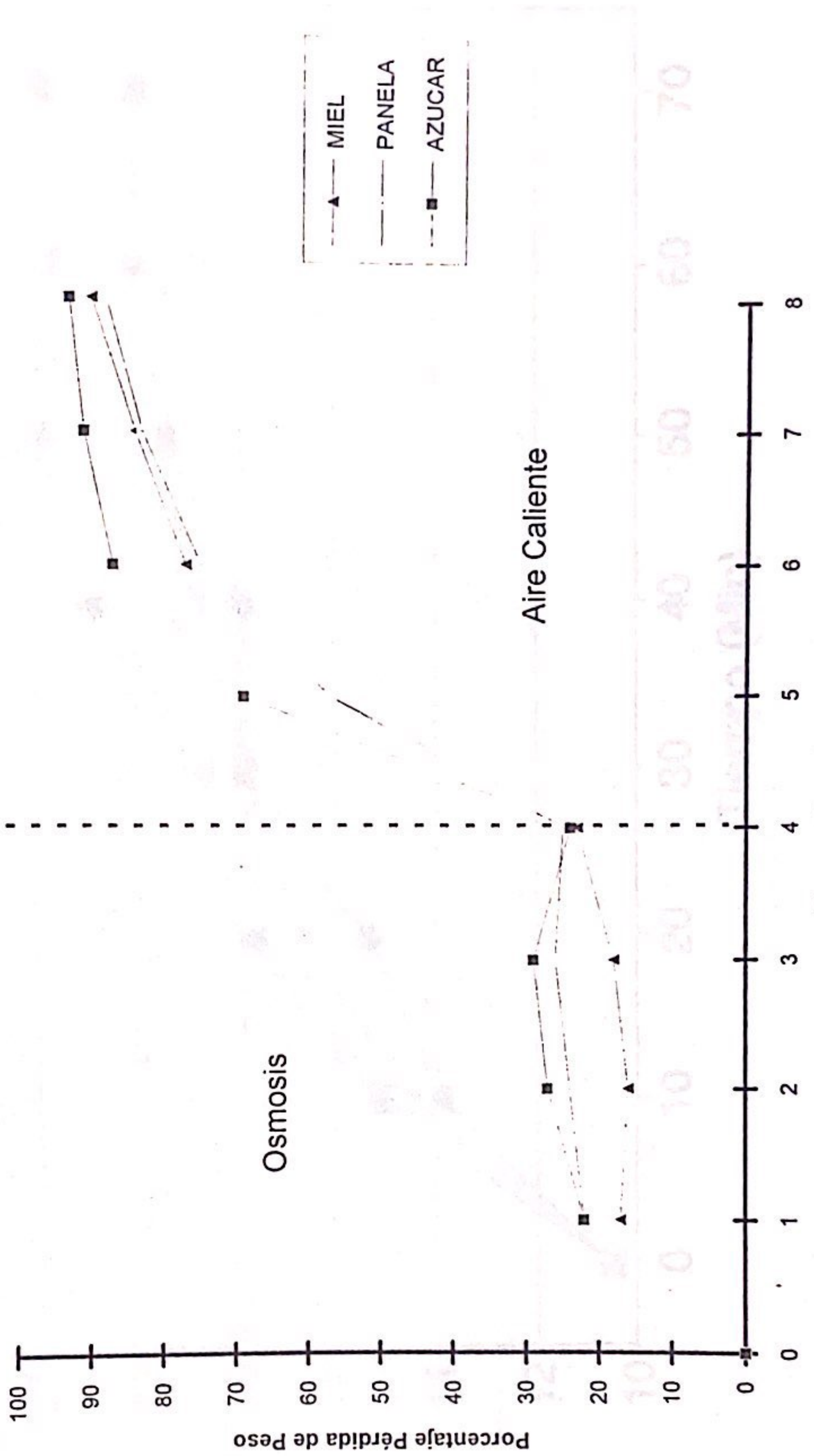
GRAF 3. Ganancia de Solidos y Perdida de Agua



GRAF 4. Perdida de Peso (Curvas Promedio)

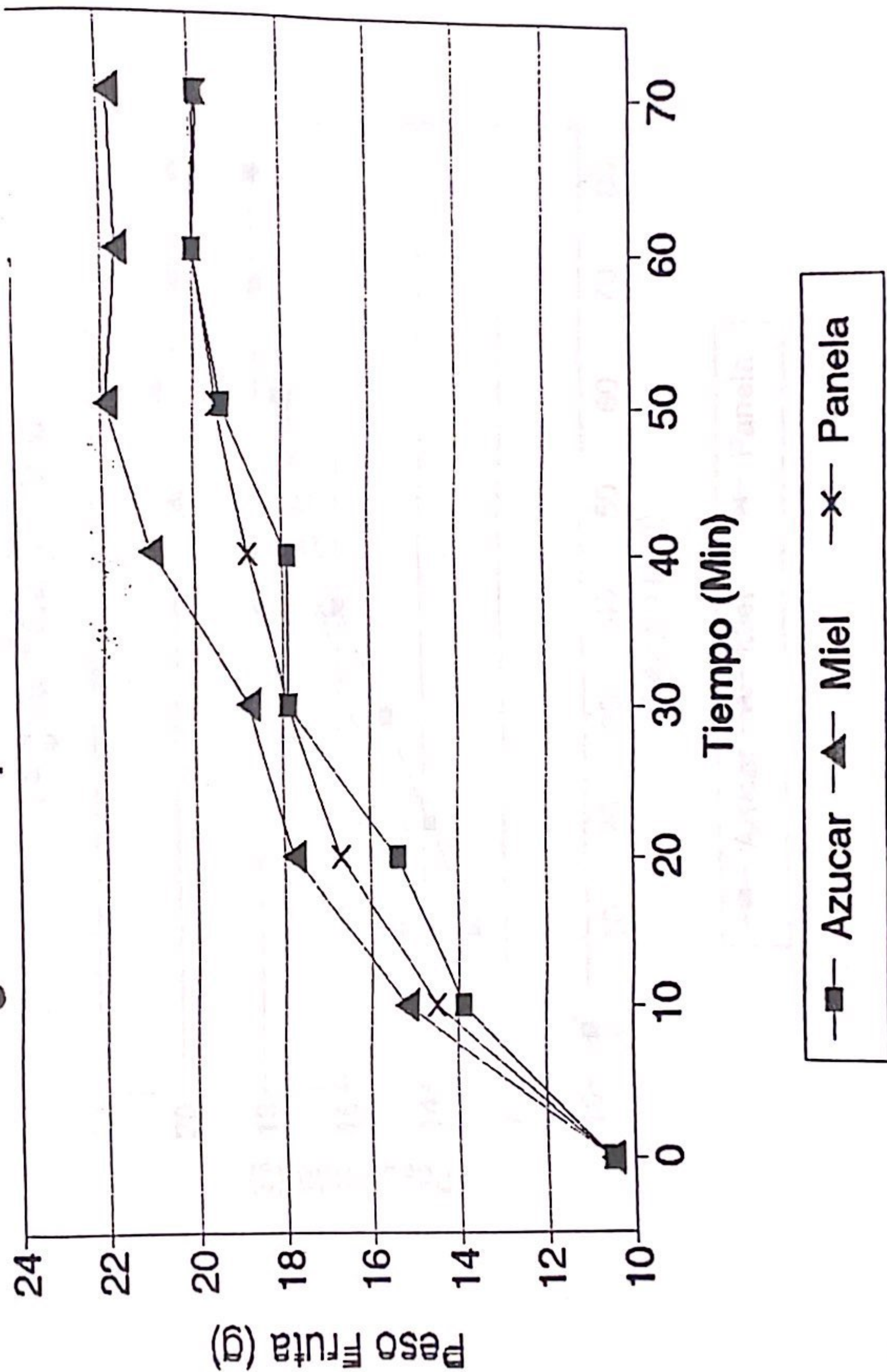


GRAF. 5 Curvas de Deshidratado de Zapote (Sistema Osmoaica)



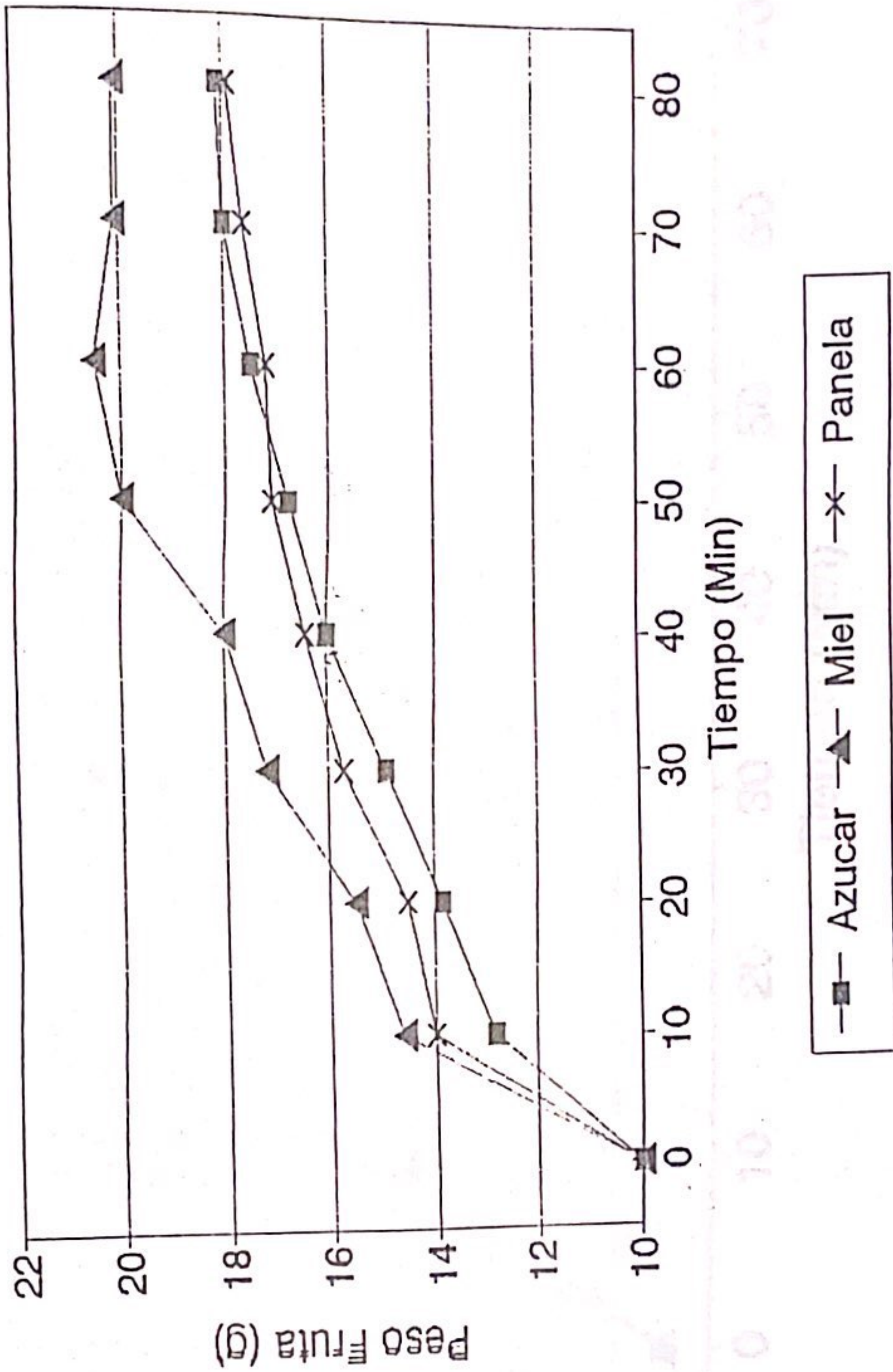
GRAF 6 REHIDRATACION PIEZAS DE ZAPOTE

(Agua Temperatura Ambiente)



GRAF 7 REHIDRATACION PIEZAS DE ZAPOTE

(Agua Fria T= 9 C)



GRAF 8 Rehidratacion Piezas de Zapote (Agua Caliente T = 45 C)

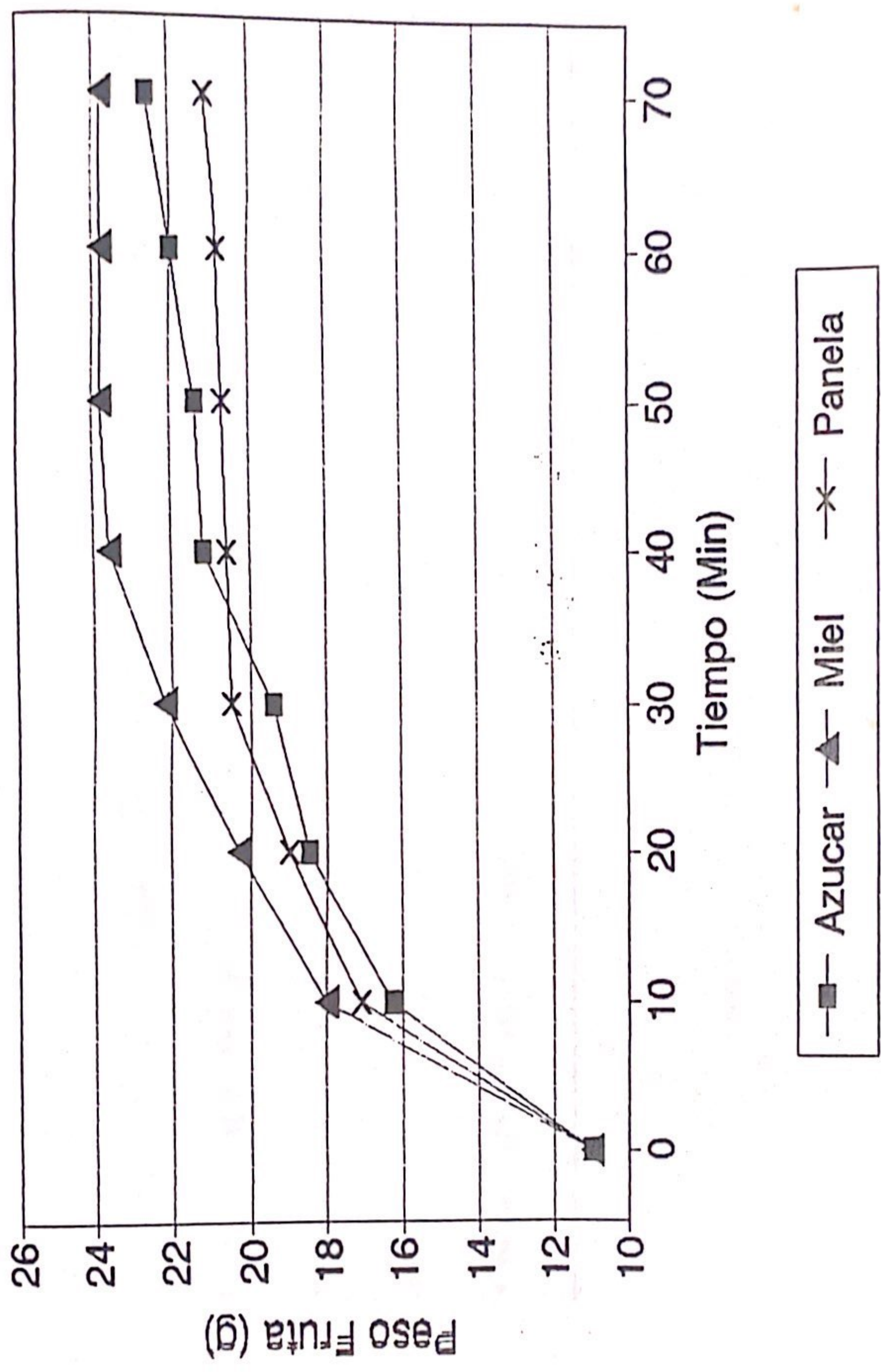


TABLA 1. INFORMACION DEL ZAPOTE

FRACCION	PESO (g)	PROMEDIO (g)	DISTRIBUCION PORCENTUAL	PORCENTAJE DE HUMEDAD
Fruto	192.5 - 332.3	222.0	100	
Cáscara	34.2 - 140.9	43.8	21	
Semilla	26.7 - 60.8	30.7	15	
* Pulpa	106.4 - 168.4	132.2	64	57.4

TABLA 2. ANALISIS DE FRUTA DESHIDRATADA

PANELISTA	Azucar	Miel	Aire Caliente	Panela
P1	3	1	4	2
P2	1	2	4	3
P3	1	2	4	3
P4	1	2	4	3
P5	3	1	4	2
P6	1	3	4	2
P7	1	2	3	4
P8	3	1	4	2
P9	1	2	4	3
Total	15	16	35	24

RESULTADOS

Variables	DF	SS	MS	F
Muestras	3	13.36	4.45	14.4 > 3.01
Panelistas	8	0	0	
Error	24	7.36	0.31	
Total	35	20.72		

TABLA 3. ANALISIS DE PIES RELLENOS CON FRUTA DESHIDRATADA

Panelista	Azucar	Miel	Fruta Fresca
P1	1	2	3
P2	3	1	2
P3	2	1	3
P4	1	2	3
P5	2	1	3
P6	1	2	3
P7	2	3	1
P8	1	3	2
P9	3	1	2
Total	16	16	22

RESULTADOS

Variables	DF	SS	MS	F
Muestras	2	1.93	0.96	1.96 < 3.40
Panelistas		0		
Error	24	11.84	0.49	
Total	26	13.77		

FUENTES APENDICE A

- FIG. 1-6 Batty, J. C. y Steven L. Folkman. 1990. Fundamentos de la Ingeniería de Alimentos. C.E.C.S.A. México, D.F. 319 pp.
- FIG. 7 Charley, H. 1989. Tecnología de Alimentos. Editorial Limusa, México, D.F. pp 767.
- FIG. 8 Torreggiani, D. 1993. Osmotic dehydration in fruit and vegetable processing. Food Research International. 26: 59-68