

300627



UNIVERSIDAD LA SALLE 34

ESCUELA DE QUIMICA
INCORPORADA A LA U.N.A.M. 203

**CONSERVACION DE CIRUELA EUROPEA
(Prunus doméstica) VARIEDAD SANTA ROSA,
UTILIZANDO EL PROCESO DE DESHIDRATACION
OSMOTICA**

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BILOGO

PRESENTA :

ROCIO TERESA VELA SANCHEZ

DIRECTOR DE TESIS :

Q. IRENE MONTALVO VELARDE

MEXICO, D. F.

1993

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

Introducción.....	1
1.0 Objetivos.....	2
2.0 Antecedentes.....	4
2.1 Características y composición de la ciruela.....	5
Producción de ciruela en México.....	7
2.2 Actividad Acuosa.....	8
2.3 Efecto del agua sobre la calidad de los alimentos.....	11
Oscurecimiento no enzimático.....	13
Reacciones enzimáticas.....	14
Oxidación de lípidos.....	14
Efecto de la A_w sobre el crecimiento microbiano.....	16
Respuesta microbiana a valores reducidos de A_w	17
Adaptación de los microorganismos a la disminución de la actividad acuosa.....	19
Interacción de la actividad de agua con otros factores..	20
2.4 Alimentos de humedad intermedia.....	22
Tecnologías de obtención de alimentos de humedad intermedia.....	24
2.5 Deshidratación Osmótica.....	26
Tecnologías de deshidratación osmótica.....	28
Factores que afectan la deshidratación osmótica.....	29
Naturaleza del producto.....	30
Pretratamientos.....	31
Forma y tamaño de las rebanadas.....	31
Composición y concentración de las soluciones osmóticas.....	32
Actividad acuosa de las soluciones osmóticas.....	35
Cinéticas de deshidratación osmótica.....	36
Reconcentración del jarabe.....	38
Duración de tratamiento osmótico.....	38
Relación fruta a solución osmótica.....	39
Efecto de la temperatura.....	40
Efecto de la agitación.....	42

2.6	Procesos posteriores.....	42
	Ventajas del proceso de deshidratación.....	44
3.0	Materiales y Métodos.....	46
4.0	Desarrollo Experimental.....	55
5.0	Resultados.....	64
6.0	Conclusiones.....	98
7.0	Bibliografía.....	101

INDICE DE CUADROS

Cuadro I	Composición de la Ciruela.....	6
Cuadro II	Producción nacional de ciruela.....	6
Cuadro III	Aw de frutas frescas a 25°C.....	10
Cuadro IV	Valores de actividad acuosa para el crecimiento de distintos microorganismos.....	17
Cuadro V	Actividad acuosa de algunos alimentos de humedad intermedia.....	23
Cuadro VI	Valores de la constante -K para soluciones binarias de no electrolitos.....	35
Cuadro VII	Composición fisicoquímica de la ciruela.....	65
Cuadro VIII	Composición de las soluciones osmóticas con actividad acuosa igual a 0.80.....	66
Cuadro IX	Composición de las soluciones osmóticas con actividad acuosa igual a 0.85.....	67
Cuadro X	Composición de las soluciones osmóticas con actividad acuosa igual a 0.90.....	67
Cuadro XI	Efecto de las condiciones de tratamiento de la deshidratación osmótica sobre la actividad acuosa de la ciruela. Soluciones osmóticas O1, O2 y O3.....	68
Cuadro XII	Efecto de las condiciones de tratamiento de la deshidratación osmótica sobre la actividad acuosa de la ciruela. Soluciones osmóticas S1, S2 y S3.....	69
Cuadro XIII	Deshidratación osmótica de mitades y cuartos de ciruela.....	71
Cuadro XIV	Comparación de las cinéticas de deshidratación.....	81
Cuadro XV	Composición de las ciruelas troceadas de humedad intermedia.....	84
Cuadro XVI	Actividad de agua y humedad.....	86
Cuadro XVII	Acidez y pH.....	87
Cuadro XVIII	Azúcares reductores totales.....	88
Cuadro XIX	Evaluación sensorial.....	96
Cuadro XX	Evaluación sensorial. Análisis de Varianza.....	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Velocidades de reacción en un alimento en función de la actividad acuosa.....	12
Figura 2	Efecto de la reducción de la actividad acuosa en el crecimiento bacteriano.....	18
Figura 3	Representación del fenómeno de la ósmosis durante la deshidratación osmótica.....	27
Figura 4	Efecto de la concentración de azúcar en la velocidad de deshidratación osmótica de rebanadas de manzana.....	34
Figura 5	Efecto de la temperatura en la velocidad de deshidratación osmótica de rebanadas de manzana en sacarosa seca.....	41
Figura 6	Evaluación sensorial.....	54
Figura 7	Desarrollo experimental.....	56
Figura 8	Determinación del contenido de sólidos normalizado. Método estático. $A_w=0.80$	73
Figura 9	Determinación de la actividad acuosa. Método estático. $A_w=0.80$	73
Figura 10	Determinación del porcentaje de agua perdida. Método estático. $A_w=0.80$	74
Figura 11	Determinación del contenido de sólidos normalizado Método estático. $A_w=0.85$	75
Figura 12	Determinación de la actividad acuosa. Método estático. $A_w=0.85$	75
Figura 13	Determinación del porcentaje de agua perdida. Método estático. $A_w=0.85$	76
Figura 14	Determinación del contenido de sólidos normalizado. Método estático. $A_w=0.90$	77
Figura 15	Determinación de la actividad acuosa. Método estático. $A_w=0.90$	77
Figura 16	Determinación del porcentaje de agua perdida. Método estático. $A_w=0.90$	78
Figura 17	Determinación del contenido de sólidos normalizado Método dinámico. $A_w=0.85$	79

Figura 18	Determinación de la actividad acuosa. Método dinámico. $A_w=0.85$	79
Figura 19	Determinación del porcentaje de agua perdida. Método dinámico. $A_w=0.85$	80
Figura 20	Variación en el contenido de azúcares reductores directos. Fórmula G.....	89
Figura 21	Variación en el contenido de azúcares reductores directos. Fórmula S.....	89
Figura 22	Oscurecimiento no enzimático. Fórmula G.....	91
Figura 23	Oscurecimiento no enzimático. Fórmula S.....	91
Figura 24	Color. Fórmula G.....	92
Figura 25	Color. Fórmula S.....	92
Figura 26	Dióxido de azufre. Fórmula G.....	93
Figura 27	Dióxido de azufre. Fórmula S.....	93
Figura 28	Acido sórbico. Fórmula G.....	94
Figura 29	Acido sórbico. Fórmula S.....	94

INTRODUCCION

Debido a su elevado contenido de humedad la mayoría de las frutas tienen una vida de anaquel limitada. Para conservarlas por períodos de tiempo más largos es necesario detener las reacciones de deterioro bioquímicas y microbiológicas. Para lograr esto existen métodos de conservación como por ejemplo la congelación y el secado. Estos métodos se basan en el control de la actividad de agua. En efecto, la cantidad de agua disponible es disminuida en el primer caso por la formación de cristales de hielo, y en el segundo caso por la evaporación del agua. Esta disminución tiene como consecuencia la reducción de la actividad de agua a un nivel tal que el crecimiento de microorganismos y la velocidad de las reacciones bioquímicas son inhibidas. Es posible antes del secado por aire reducir la actividad de agua de las frutas por deshidratación osmótica.

La deshidratación osmótica consiste en poner en contacto al alimento con soluciones concentradas de azúcares. Durante el proceso y debido al fenómeno de ósmosis la solución se diluye y el alimento se concentra.

La deshidratación osmótica permite mejorar el sabor, el color y la textura de los productos secados debido principalmente al efecto protector ejercido por el soluto. La elevada concentración de solutos favorece la retención de aromas y mejora la estabilidad de los pigmentos durante el secado y el almacenamiento.

El método es aplicable a frutas como la ciruela, la cual actualmente se consume principalmente en estado fresco aún cuando existen algunas opciones para su procesamiento, como la elaboración de ciruelas pasas y mermeladas.

De esta forma, el desarrollo del método de deshidratación osmótica de ciruela constituye una alternativa para la industrialización de este fruto.

10 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Obtener ciruelas troceadas de humedad intermedia a partir de Ciruela Europea (Prunus doméstica, variedad Santa Rosa) por el método de deshidratación osmótica.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Establecer las características de los procesos estático y dinámico de deshidratación osmótica.

- Combinar la deshidratación osmótica con el secado por aire para obtener una fruta con una actividad de agua entre 0.75 - 0.90, que sea estable en sus características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales durante un período de almacenamiento de 3 meses, a temperaturas de 10°, 25° y 35° C.

20 ANTECEDENTES

2.1 CIRUELA

2.1.1 CARACTERISTICAS Y COMPOSICION DE LA CIRUELA EUROPEA (Prunus doméstica)

La Ciruela (del latín *cereola*, de color de cera), fruto del ciruelo, es una drupa carnosa, que se clasifica botánicamente dentro de el orden de los rosales, de la familia de las rosáceas, del género *Prunus*, especie *doméstica* (24).

La ciruela es una fruta ovalada o ligeramente esférica, que puede medir desde 3 hasta 8 cm de diámetro; de piel fina y lampiña, de color verde, amarillo, rojo o púrpura según la variedad; cubierta por una capa cerosa blanquecina. La pulpa es carnosa, de color que varía de blanco o verde hasta rojo, aromática, de sabor dulce, algo ácido y agradable (15,48). El hueso es duro, aplanado y puntiagudo, de superficie algo áspera y con un surco marcado en uno de sus bordes. La semilla contiene dos cotiledones plano-convexos y es de sabor amargo (24,48).

En particular, la variedad Santa Rosa se caracteriza por ser un fruto grande, más abultado de un lado que del otro, su piel es fina y resistente, de color violeta oscuro. La pulpa es amarilla, jugosa, de sabor dulce y perfumado (24).

La ciruela se caracteriza por ser una de las frutas con mayor contenido de carbohidratos, además de ser una fuente importante de calcio y de vitaminas A, B₁, B₂, Niacina, ácido fólico y vitamina C. En el cuadro I se muestra la composición de la ciruela por cada 100 g de peso neto (15,22,24).

CUADRO I
COMPOSICION DE LA CIRUELA *

COMPONENTE	COMPOSICION POR 100 g DE PESO NETO
AGUA (%)	81.0 - 91.0
CARBOHIDRATOS (%)	6.2 - 17.9
PROTEINAS (%)	0.5 - 0.9
GRASAS (%)	0.4 - 0.6
FIBRA (%)	0.4 - 2.5
CENIZAS (%)	0.3 - 0.6
MINERALES :	
CALCIO (mg)	15.0 - 39.0
HIERRO (mg)	0.4 - 1.7
MANGANESO (mg)	0.6
COBRE (mg)	0.9
ZINC (mg)	0.03
VITAMINAS :	
RETINOL (µg eq.)	76.0
TIAMINA B ₁ (mg)	0.02 - 0.09
RIBOFLAVINA B ₂ (mg)	0.03 - 0.12
NIACINA (mg)	0.3 - 0.9
ACIDO FOLICO (µg)	2.0
ACIDO ASCORBICO (mg)	12.0 - 19.0
ENERGIA (K CALORIAS)	48.0 - 71.0

* Tomado de (15,22).

2.1.2 PRODUCCION DE CIRUELA EN MEXICO

En nuestro país la ciruela se cultiva en 15 estados, y la época de cosecha es durante los meses de marzo a septiembre.

El cultivo de ciruela en la República Mexicana abarca una extensión de 8 508 Ha, con una producción anual de 43 448 Ton de fruta, siendo los principales productores los estados de Veracruz y Michoacán, aportando el 50 y 26 % de la producción total respectivamente.

En el cuadro II se muestra la producción anual de ciruela en la República Mexicana por estado, así como la superficie sembrada y la época de cosecha (9).

CUADRO II
PRODUCCION NACIONAL DE CIRUELA *

ESTADO	SUPERFICIE SEMBRADA (Ha)	PRODUCCION	EPOCA DE COSECHA
TOTAL	8,508	43,448	
B. CALIFORNIA NORTE	37	350	MAYO-JUNIO
COAHUILA	147	91	JUNIO
CHIHUAHUA	360	975	JULIO-AGOS
D.F.	127	89	MAYO-JUNIO
GUANAJUATO	16	78	AGOS-SEPT
HIDALGO	152	30	JUN-JULIO
JALISCO	161	966	JUN-JULIO
EDO. MEXICO	795	3,103	ABRIL-JUNIO
MICHOACAN	2,150	11,430	MAYO-JUNIO
MORELOS	80	652	MARZO-MAYO
OAXACA	54	52	ABRIL-JUNIO
PUEBLA	600	3,500	MARZO-AGOS
QUERETARO	40	30	JUNIO-AGOS
TLAXCALA	33	84	JUNIO-JULIO
VERACRUZ	3,559	22,038	JULIO

* Tomado de (9)

2.2 ACTIVIDAD ACUOSA (Aw)

2.2 DEFINICIONES.

En las frutas, el agua es el componente que se encuentra en mayor concentración, y su presencia determina en gran medida la forma y estructura del alimento, así como su aceptación y digestibilidad. Esto se debe a las propiedades físicas del agua y a sus interacciones con los demás constituyentes del alimento. Estas interacciones determinan la inhibición o propagación de las diferentes reacciones químicas, enzimáticas o microbiológicas que se llevan a cabo y que pueden reducir el valor nutritivo y la calidad del alimento (41).

Las interacciones del agua con los demás constituyentes de los alimentos dependen de la tendencia del agua a unirse con diferentes grados de tenacidad a sustancias hidrofílicas, y puede considerarse como agua "ligada" y agua "libre".

El agua "ligada", se encuentra adsorbida en solutos y constituyentes no acuosos solo hasta el valor de monocapa, tiene una movilidad molecular reducida, no se congela y no actúa como disolvente, en cambio, el agua "libre" ocupa las posiciones más alejadas de los constituyentes no acuosos, tiene propiedades similares al agua de una solución salina diluida, si se congela y si actúa como disolvente (13,18).

La "actividad de agua" o "actividad acuosa" determina el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos y es una medida indirecta del agua disponible (libre) para llevar a cabo las reacciones a las que están sujetos (52).

La actividad de agua se puede definir como la razón de la presión de vapor del agua del alimento a una temperatura dada (T), entre la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura. Así mismo puede considerarse equivalente numéricamente a la humedad relativa dividida entre 100 a la cual el alimento se encuentra en equilibrio con el ambiente que lo rodea (45,51).

Los valores que puede tomar la A_w van de 0 - 1,0 . Es importante hacer notar que la A_w no es correspondiente al contenido de humedad del alimento (52).

La expresión matemática que define la actividad de agua es la siguiente:

$$A_w = \frac{P}{P_o} = \frac{\% \text{ de Humedad relativa}}{100}$$

Donde :

A_w = Actividad de agua

P = presión de vapor del agua del alimento a la temperatura T

P_o = presión de vapor del agua pura a la misma temperatura.

La actividad de agua de los alimentos desempeña un papel muy importante en su estabilidad, ya que muchas reacciones dafinas ocurren de acuerdo con este valor. La mayoría de los alimentos naturales como carnes, pescados, vegetales y frutas, tienen una actividad de agua aproximadamente de 0.97 , con contenidos de 60% o más de agua (8).

La actividad de agua de los alimentos está determinada por la naturaleza y concentración de las especies químicas disueltas en su fase acuosa.

Concretamente, en las frutas frescas estas especies son preponderantemente azúcares y ácidos orgánicos. El el cuadro III se muestra la actividad de agua de algunas frutas frescas, en donde se observa que los valores son superiores a 0.97 lo cual es un indicador de que son susceptibles al ataque microbiano y a reacciones químicas indeseables (8).

CUADRO III

Aw DE FRUTAS FRESCAS a 25° C *

PRODUCTO	Aw
PIRA	0.99 -0.98
PLATANO	0.97 -0.96
DURAZNO	0.99 -0.98
FRESA	0.99 -0.98
HIGU	0.97
MANGO	0.99
MANZANA	0.99 -0.98
MELON	0.99 -0.97
PAPAYA	0.99
PERA	0.99 -0.97
NARANJA	0.98 -0.99
CIRUELA	0.98 -0.98

* Tomado de (8).

2.3 EFECTO DEL AGUA SOBRE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

La calidad de los alimentos puede cambiar durante el almacenamiento debido a reacciones de deterioro determinadas principalmente por el valor de actividad de agua y el contenido de humedad de los alimentos (42).

Estos cambios pueden deberse a reacciones enzimáticas, reacciones de oscurecimiento no enzimático, oxidación de lípidos y reacciones entre lípidos y proteínas, así como a la degradación microbiológica del alimento debida al crecimiento de bacterias, levaduras y hongos, con la producción de metabolitos indeseables (24,43).

La movilidad de las sustancias químicas es uno de los factores determinantes en las reacciones químicas que suceden en el alimento, de tal manera que el agua puede actuar en alguna de las siguientes formas (27):

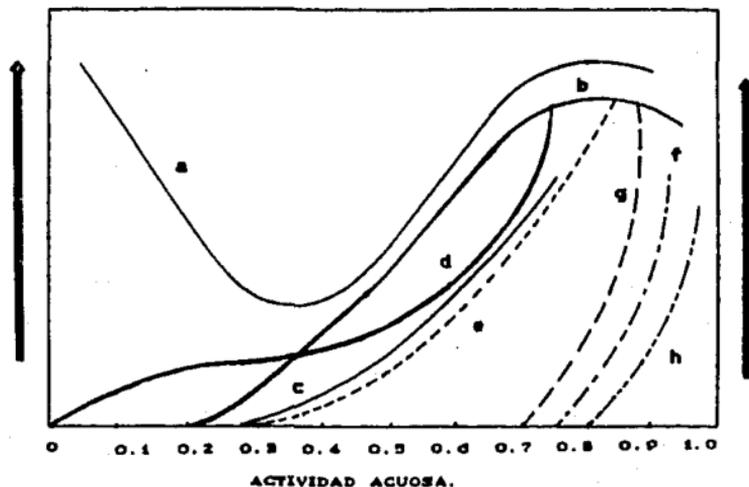
- A.- Como solvente de reactantes y de productos
- B.- Como reactante (por ejemplo en reacciones de hidrólisis)
- C.- Como producto de reacción (por ejemplo en reacciones de condensación, como ocurre en el oscurecimiento no enzimático).
- D.- Como modificador de las actividades catalíticas e inhibitorias de otras sustancias. (el agua inactiva algunos metales catalizadores de la peroxidación de lípidos).

En la figura 1 se observa la influencia de la actividad de agua sobre las velocidades de deterioro químico en un sistema alimenticio, a temperatura de 20 ° C (30). A continuación se explican algunas de las reacciones responsables del deterioro de los alimentos.

FIGURA 1

VELOCIDAD
RELATIVA DE
REACCION

CONTENIDO
DE
HUMEDAD



Velocidades de reacción en un alimento en función de la actividad acuosa (comportamiento generalizado a 20° C)(30).

- a) Oxidación lipídica. b) Oscurecimiento no enzimático.
- c) Reacciones hidrolíticas. d) Isotherma de sorción típica
- e) Actividad enzimática. f) Crecimiento de levaduras
- g) Crecimiento de hongos. h) Crecimiento de bacterias

2.3.1 OSCURECIMIENTO NO ENZIMÁTICO.

Las reacciones de oscurecimiento no enzimático son responsables de cambios en el color, sabor y valor nutritivo del alimento.

Estas reacciones pueden ser de caramelización de azúcares (descomposición por calor sin la participación de grupos amino) o reacciones de Maillard, que involucran a los aminoácidos de las proteínas que se condensan con los grupos carbonilo de azúcares acíclicos, dando como resultado la formación de pigmentos de color oscuro, además de una disminución en el valor nutritivo del alimento y la producción de sabores amargos (6,27).

La mayoría de los alimentos deshidratados están sujetos a reacciones de oscurecimiento no enzimático. Esta reacción es dependiente del contenido de agua e invariablemente muestra incremento en la velocidad a humedades intermedias y altas (30).

A bajas actividades de agua la baja difusión de los constituyentes que toman parte en la reacción limita las velocidades de reacción, por lo tanto la adición de agua promueve la reacción.

Como se observa en la figura 1, al aumentar la actividad de agua entre los valores de 0.6 - 0.8, la velocidad y grado de la reacción se incrementan hasta un nivel máximo, aproximadamente a valores de A_w de 0.8. Los incrementos subsecuentes en el valor de A_w provocan una disminución en la velocidad de oscurecimiento (53).

El oscurecimiento máximo depende del producto específico, pero generalmente los líquidos concentrados (por ejemplo concentrados de fruta no congelados) y alimentos de humedad intermedia (por ejemplo rellenos y frutas deshidratadas como ciruelas) se encuentran en el intervalo más susceptible para el oscurecimiento. (28).

La adición del dióxido de azufre y sulfitos disminuye la velocidad de oscurecimiento, debido a sus propiedades antioxidantes; sin embargo las regulaciones legales tienden a desaparecer su uso (16,27).

2.3.2 REACCIONES ENZIMATICAS

El agua tiene importancia en las reacciones enzimáticas debido a su función de disolvente ya que los reactantes deben ser transportados al sitio de la reacción enzimática, y los productos deben dejar el lugar (15).

En la región de absorción de agua en sitios específicos, esto es, bajo el valor de monocapa BEI , las reacciones enzimáticas ocurren extremadamente lentas o cesan por completo. Esta disminución en la actividad se debe a la falta de movilidad del sustrato para difundir al sitio activo de las enzimas, el factor limitante es la función de movimiento más que la disponibilidad. Aparentemente los sitios activos de las enzimas funcionan a bajas actividades de agua, pero los sustratos y otros reactantes como el agua deben ser suficientemente móviles para poderse transportar al sitio de la reacción (1,4,27,28).

2.3.3 OXIDACION DE LIPIDOS.

El agua interviene en las reacciones de oxidación de los lípidos presentes en los alimentos. Para los alimentos de humedad intermedia, las velocidades de oxidación se incrementan con el incremento de la actividad de agua (28).

La velocidad mínima de oxidación de lípidos ocurre a valores de A_w entre 0.3 y 0.4. La producción de peróxidos y la absorción de oxígeno frecuentemente disminuye en proporción al aumento en el contenido de humedad por encima del valor de la monocapa de la siguiente forma (28):

1) Si se parte de un alimento con A_w inferior a 0.3, la velocidad de oxidación disminuye si se le añade agua hasta un valor de A_w igual a 0.3 - 0.4 . El agua añadida atrapa hidroperóxidos, interfiere con su descomposición y por lo tanto impide el progreso de la oxidación. Además esa agua hidrata los iones metálicos que catalizan la oxidación, reduciendo aparentemente su efectividad.

2) Una adición posterior de agua incrementa las velocidades hasta llegar al valor de A_w de 0.6 - 0.7. El agua añadida acelera la reacción por aumentar la solubilidad del oxígeno y por hinchar a las macromoléculas que de esta forma exponen más sus sitios catalíticos (27).

3) A valores de actividad de agua superiores a 0.80 la adición de agua puede retardar las velocidades de oxidación debido a que la dilución de los catalizadores reduce su efectividad (27).

2.3.4 EFFECTO DE LA ACTIVIDAD DE AGUA SOBRE EL CRECIMIENTO MICROBIANO.

La A_w es un índice del agua disponible por los microorganismos para su desarrollo, actividad metabólica, supervivencia y resistencia, y tiene influencia directa sobre la estabilidad de los alimentos (19).

Cada especie de microorganismo tiene un crecimiento mínimo y máximo dependiendo de la actividad acuosa del sistema en el que se encuentre. Para la mayor parte de ellos, el valor de la actividad acuosa óptima es de 0.90 a 0.99. La mayoría de las bacterias causantes del deterioro alimenticio y de las intoxicaciones de origen alimentario no crecen por debajo de valores de $A_w = 0.91$ y muchas de las levaduras cesan su crecimiento en valores de A_w inferiores a 0.80. Los hongos germinan y proliferan a partir de valores de $A_w = 0.75$ y algunos poco frecuentes a 0.60 (3,12).

En el cuadro IV se comparan los valores de A_w para el crecimiento de distintos microorganismos (13,46).

CUADRO IV

VALORES DE ACTIVIDAD ACUOSA PARA EL CRECIMIENTO DE DISTINTOS MICROORGANISMOS (46)

MICROORGANISMO	GAMA DE ACTIVIDAD ACUOSA PARA EL CRECIMIENTO	VALOR MINIMO DE ACTIVIDAD ACUOSA PARA EL CRECIMIENTO
BACTERIAS	0.92-0.99	0.85
LEVADURAS	0.85-0.93	0.79
HONGOS	0.80-0.90	0.62

La estabilidad microbiológica de los alimentos depende de su valor de actividad de agua, y generalmente se considera en el intervalo de 0.62 a 0.85 (13,44).

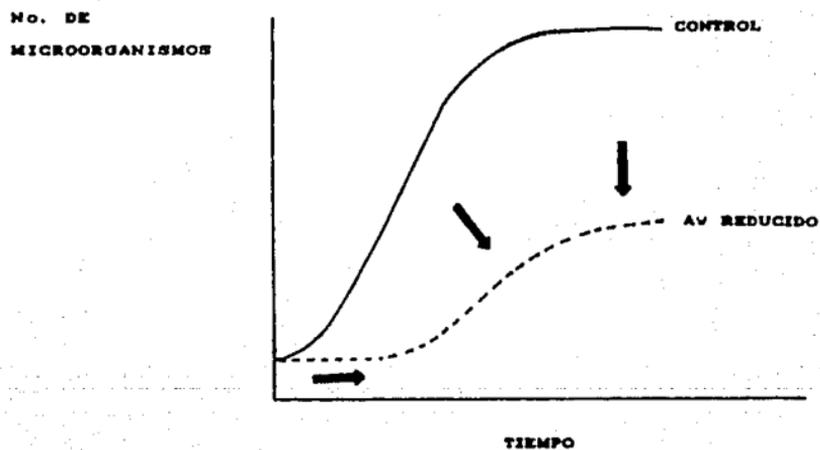
2.3.5 RESPUESTA MICROBIANA A VALORES REDUCIDOS DE A_w

1.- CRECIMIENTO

Como se observa en la figura 2, si se reduce la actividad de agua se suprime el crecimiento microbiano durante las fases lag y logarítmica así como en las fases estacionarias máximas del crecimiento. Esta inhibición no se debe directamente a la muerte celular, sino a una reducción en la velocidad de crecimiento, disminución en el número de células e inhibición de la producción de algunos metabolitos secretados por éstas.

Estas manifestaciones de la influencia de la A_w sobre el crecimiento microbiano se observan tanto en hongos, levaduras, bacterias así como en algunos parásitos y virus (5).

FIGURA 2



EFFECTO DE LA REDUCCION DE LA ACTIVIDAD ACUOSA
EN EL CRECIMIENTO MICROBIANO (8).

Como regla general, el valor mínimo de A_w para el crecimiento microbiano se incrementa en el nivel en que se incrementa la concentración de inhibidores del crecimiento. Si los factores de crecimiento se reducen, se incrementa la inhibición por la disminución de la actividad de agua (51,52).

2.- ESPORULACION.

El efecto de la A_w en la esporulación muestra que tanto el nivel de A_w como el soluto empleado para ajustar el A_w influencia la velocidad de formación de esporas.

Se ha encontrado que el valor mínimo de A_w para la esporulación se encuentra por debajo del valor para el crecimiento (51).

3.- PRODUCCION DE TOXINAS

Los valores mínimos de actividad de agua para la producción de toxinas son frecuentemente más altos que aquellos para el crecimiento microbiano (27). Por ejemplo, la A_w mínima para la producción de micotoxinas es 0.81, este valor es considerablemente más alto que el valor correspondiente para el crecimiento de los hongos. En cuanto a las bacterias el límite de la producción de enterotoxinas varía con la A_w del medio y con el tipo de enterotoxina producida por el microorganismo (3,51).

2.3.6 ADAPTACION DE LOS MICROORGANISMOS A LA DISMINUCION DE LA ACTIVIDAD ACUOSA

Ocurren adaptaciones de los microorganismos a bajas actividades de agua particularmente cuando la A_w se disminuye por adición de sustancias solubles en agua (principios de los alimentos de humedad intermedia).

Los problemas fisiológicos con que deben luchar los microorganismos que están sometidos a elevadas concentraciones de solutos son complejos y severos. Básicamente la célula puede competir con ambientes osmóticos hostiles, ya sea por excreción de solutos o bien desarrollando la capacidad de efectuar su tarea

metabólica en presencia de los solutos. Para superar estos problemas la célula requiere producir solutos osmóticamente activos acumulados intracelularmente para contrarrestar el desequilibrio osmótico a través de la membrana celular, cuando se expone a sistemas de baja actividad de agua (50).

De esta forma, la capacidad que tiene la célula para soportar los cambios de presión osmótica determinan su crecimiento máximo (51).

2.3.7 INTERACCION DE LA ACTIVIDAD DE AGUA CON OTROS FACTORES

La actividad de agua interactúa con otros factores dentro del alimento (pH, presencia de oxígeno, luz, calor, sustancias químicas) para producir una mayor inhibición los microorganismos presentes en él (52).

Calor.

El calor interactúa directamente con la actividad de agua. A elevados valores de A_w se disminuye el intervalo de temperaturas máxima y mínima para el crecimiento de los microorganismos. Por ejemplo, a una A_w dada, un incremento en la temperatura disminuye la viabilidad de las esporas fúngicas, y a menor temperatura se favorece la longevidad. Esto se debe a que los solutos tienen un efecto protector contra la inactivación por calor en las células vegetativas (52).

pH.

La concentración de iones hidrógeno afecta la capacidad de los microorganismos para adaptarse a bajos valores de a_w . Generalmente cuando se reduce la actividad de agua se reducen los límites de pH para el crecimiento. Para valores de A_w superiores a 0.92, el intervalo de pH para el crecimiento es de $pH = 5 - 10$ (51).

Sustancias químicas.

La combinación de sustancias químicas (conservadores) con humectantes que reducen la actividad de agua se realiza para potenciar el efecto de los primeros. De ésta manera se logra el mismo grado de inhibición del crecimiento microbiano utilizando menores concentraciones de los conservadores.

Se pueden utilizar conservadores químicos para controlar el crecimiento de hongos y levaduras, como el ácido sulfuroso, ácido benzoico, ácido parahidroxibenzoico y ácido sórbico (16).

2.4 ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA (AHI)

La reducción de la A_w por debajo de ciertos valores, permite conservar las características sensoriales deseables y la inhibición del crecimiento microbiano de los alimentos (29).

De acuerdo con Karel (27), los Alimentos de humedad intermedia son plásticos, fácilmente masticables y no producen sensación bucal de sequedad, tienen un contenido de humedad entre el 10 y el 50% , y un valor de actividad de agua en el intervalo de 0.70 - 0.90.

Los AHI presentan además las siguientes características:

- 1.- Contienen agua en cantidad suficiente para presentar una textura suave.
- 2.- El agua se encuentra en cantidad tal que para la conservación del alimento no son necesarios ni tratamientos térmicos ni de refrigeración (12,47).

Las razones científicas y tecnológicas para determinar los límites de A_w son las siguientes :

El valor de $A_w = 0.70$ corresponde aproximadamente al punto crítico de aparición del agua disolvente, además de que el crecimiento de hongos y levaduras es inhibido. Por otra parte, el valor $A_w = 0.90$ corresponde, aunque con menor precisión a la aparición de una fase acuosa líquida, y es el punto de inhibición del crecimiento de bacterias patógenas (35).

Son numerosos los métodos utilizados para obtener alimentos de humedad intermedia. Algunos de estos métodos son:

La deshidratación, el confitado, el salado, el escaldado, el ahumado, la fermentación, la adición de ácidos, la adición de antimicrobianos y de antisépticos, así como la combinación de dos o más de estos métodos (12,26).

Algunos ejemplos de alimentos de humedad intermedia son :

- Productos que han sido secados sin la adición de humectantes, como: ciruelas, chabacanos, dátiles, higos, etc.
- Productos a los cuales se les ha añadido azúcar como: frutas confitadas, dulces suaves, mermeladas, jaleas, mieles, rellenos para tartas y jarabes de frutas.
- Productos que han sido secados con adición de sal, como: embutidos y carnes secas.
- Productos que han sido secados, salados y azucarados como: jamón campestre y alimentos para mascotas (29)

En el cuadro V se muestran los valores de actividad de agua para algunos de los alimentos de humedad intermedia más comunes. Puede notarse que las frutas deshidratadas tienen un valor de Aw promedio entre 0.72 y 0.80 .

CUADRO V *

ACTIVIDAD ACUOSA DE ALGUNOS ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA	
ALIMENTO	Aw a 25°C
Pathé	0.96
Salami	0.82-0.85
Embutidos	0.79
Frutas secas	0.72-0.80
Jaleas y Mermeladas	0.82-0.94
Miel	0.75
Rellenos para pasteles comerciales	0.65-0.71

* Tomado de (16).

Los agentes depresores de la actividad de agua se denominan humectantes, y deben poseer entre otras características importantes las siguientes:

- Aprobación como aditivo alimentario
- Efectividad a concentraciones razonables
- Compatibilidad con las características del alimento
- Bajo costo
- Ausencia de sabor o sabor aceptable.
- Ausencia de color
- No tóxico para el hombre, pero de ser posible tener acción bacteriostática o fungistática.
- Eventualmente estado líquido a temperatura ordinaria, para asegurar una plasticidad complementaria al alimento.
- Completamente miscible o una alta solubilidad en el agua (21).

Estas últimas características son de suma importancia, ya que la disminución de la actividad de agua depende del efecto de los solutos sobre la estructura del agua de una solución o de un alimento. Este efecto se explica por la adsorción de moléculas de agua sobre ciertos grupos iónicos o polares del soluto, y por la constitución de esferas de hidratación alrededor de cada molécula en solución (21).

2.4.1 TECNOLOGIAS DE OBTENCION DE ALIMENTOS DE HUMEDAD INTERMEDIA

Las tecnologías para la obtención de Alimentos de humedad intermedia se pueden clasificar en tres tipos (26,29):

1.- Infusión húmeda, en la cual las piezas del alimento se sumergen bajo tratamiento térmico opcional en una solución de humectante de baja actividad de agua, hasta obtener el producto con una Aw deseada. Este es el caso de la deshidratación osmótica.

2.- Infusión seca en la cual las piezas de alimento sólido, se deshidratan y posteriormente se sumergen en una solución que contiene los agentes osmóticos escoquidos previamente.

3.- Mezclado, en el cual los componentes se pesan, se mezclan, se tratan térmicamente y se muelen, hasta obtener un producto final con la Aw deseada (29).

Aunados a los procesos anteriores, pueden considerarse los siguientes:

- Ajuste de la Aw del producto final por evaporación o deshidratación.
- Estabilización microbiológica por calentamiento o por adición de conservadores químicos.
- Inhibición del deterioro enzimático por escaldado.
- Prevención del deterioro físico-químico por adición de antioxidantes, agentes quelantes, emulsificantes o estabilizantes.
- Ajuste del contenido de nutrientes (26,29).
- Diseño del envase. El envase es de suma importancia para proteger la calidad de los alimentos de humedad intermedia. Para la mayoría de estos alimentos, el empaque debe ser impermeable al vapor de agua y al oxígeno, para prevenir reacciones de oxidación (29).

2.5.0 DESHIDRATACION OSMOTICA

Un método sencillo de obtención de alimentos de humedad intermedia es la deshidratación osmótica.

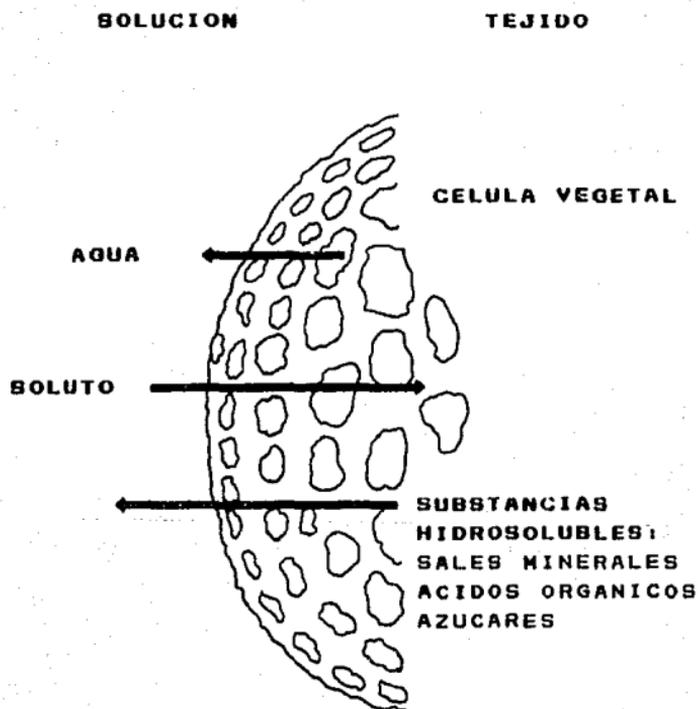
La deshidratación osmótica es un proceso de remoción de agua que se basa en colocar alimentos como piezas de fruta o vegetales en una solución hipertónica. Debido a que la solución tiene una elevada presión osmótica, y por lo tanto baja actividad de agua, se provoca una remoción de agua del alimento, a través de la pared celular del tejido, la que actúa como una membrana semipermeable (31).

El agua difunde a través de la membrana desde la solución diluida (en el alimento) a la concentrada (solución hipertónica), hasta que se alcanza el equilibrio. Dado que la membrana es parcialmente selectiva, hay siempre un pequeño escape de soluto de la solución hacia el alimento y del alimento hacia la solución. Por lo tanto, la ósmosis directa (deshidratación) es un proceso simultáneo de difusión de agua y solutos (31,32).

En la figura 3 se muestra esquemáticamente el fenómeno de la ósmosis durante la deshidratación osmótica (26).

En alimentos la pérdida de agua es siempre superior a la ganancia de soluto, por lo que durante el proceso hay una disminución del peso del producto. Existen estudios en los que se han reportado reducciones de peso hasta del 50%, correspondiente a una pérdida de agua de 62% y una ganancia de soluto de 12%. La disminución del peso del producto está acompañada de una reducción proporcional del volumen (38).

FIGURA 3



REPRESENTACION DEL FENOMENO
DE LA OSMOSIS DURANTE LA
DESHIDRATACION OSMOTICA (26).

2.5.1 TECNOLOGIAS DE DESHIDRATACION OSMOTICA.

La deshidratación osmótica consiste en dos operaciones fundamentales:

- 1.- Inmersión del alimento en una solución osmótica concentrada o dentro del material seco.
- 2.- Tratamiento posterior al alimento para proporcionarle la estabilidad adecuada. Este tratamiento puede ser secado con aire, secado al vacío o liofilizado (10).

2.5.1.1 INFUSION SECA.

La fruta se mezcla con azúcar seco (sacarosa, lactosa, glucosa o mezclas de ellos), y se mantiene en reposo, bajo condiciones adecuadas de tiempo y temperatura.

1. TRATAMIENTO ESTÁTICO.

La fruta se mezcla con azúcar seco en una relación 1:1, y permanece en condiciones adecuadas de tiempo y temperatura hasta obtener una reducción de peso de aproximadamente 50 %. Al final del tratamiento, la fruta se escurre y posteriormente se seca o se congela. Se puede someter a un ligero baño de agua (enjuague) para remover parte del azúcar depositada en la superficie (31,38).

2. TRATAMIENTO DINÁMICO.

Al poner en contacto la fruta con el azúcar seco, se forman "costras" al rededor de la fruta, formando una pared de baja permeabilidad. Si la mezcla se agita, se observa un incremento en la velocidad de deshidratación por la remoción de los conglomerados de azúcar. Esta agitación debe hacerse de tal modo que se evite la desintegración de la fruta (31,38).

2.5.1.2. INFUBION HUMEDA.

La fruta se sumerge en jarabes concentrados de azúcares y se mantiene en condiciones adecuadas de tiempo y temperatura. Los jarabes son el medio osmótico más útil para la deshidratación osmótica tanto por su manejo como por su reutilización (31,38).

1. TRATAMIENTO ESTATICO.

La fruta se sumerge en jarabe con concentraciones hasta de 75% de azúcar. Si el contenido final de azúcar está por encima del punto de saturación se prefiere usar jarabe invertido.

En muchos casos se ha observado que la velocidad de la deshidratación osmótica no se incrementa considerablemente con concentraciones superiores a 67 % de azúcar.

La fruta se puede tratar en jarabe por 8 h a temperatura ambiente o por corto tiempo a temperaturas superiores a 40° C. Posteriormente, la fruta se escurre se enjuaga para remover el jarabe de la superficie y se seca por otro método (31,38).

2. TRATAMIENTO DINAMICO.

La fruta se sumerge dentro de jarabes concentrados y se propicia una distribución homogénea de los mismos, ya sea por agitación de la fruta dentro del sistema o por recirculación del jarabe.

La solución osmótica debe circularse alrededor de las piezas de fruta para evitar zonas localizadas de dilución debidas al agua extraída, de ésta manera, la velocidad de ósmosis es más alta en un baño agitado que en uno no agitado (31,38).

2.5.2 FACTORES QUE AFECTAN LA DESHIDRATAACION OSMOTICA.

En general se ha visto que los principales factores que influyen en el proceso de deshidratación osmótica son los siguientes (21,26):

A.- Factores del producto:

- A.1 Naturaleza del producto
- A.2 Pretratamientos
- A.3 Forma y tamaño de los cortes practicados

B.- Factores de la solución:

- B.1 Composición y concentración de la solución osmótica
- B.2 Actividad acuosa de las soluciones osmóticas
- B.3 Cinéticas de deshidratación osmótica

C.0 Factores del tratamiento.

- C.1 Tiempo de tratamiento
- C.2 Temperatura
- C.3 Agitación
- C.4 Relación fruta a solución osmótica.

A continuación se discuten los factores antes mencionados:

A.1 NATURALEZA DEL PRODUCTO.

La calidad de las frutas deshidratadas invariablemente depende del estado de madurez de la fruta fresca, y debe ser tal que permanezca lo suficientemente firme para soportar la cosecha y las prácticas de proceso sin el deterioro o ruptura de la piel, con la consecuente estimulación de las enzimas presentes que producen el oscurecimiento. El estado de madurez óptimo generalmente se juzga subjetivamente, por el color y la textura de la fruta (2).

Sin embargo, un método objetivo en la evaluación de la madurez es la determinación del contenido de sólidos solubles, utilizando un refractómetro. El requisito fundamental en la selección de la fruta es que tenga un elevado contenido de sólidos, así la proporción de producto seco es elevada y la cantidad de agua que se va a remover es menor, de esta manera las frutas que tienen grandes cantidades de azúcar son apropiadas para el secado (24).

A.2 PRETRATAMIENTOS.

Los tratamientos aplicados a las frutas antes de la deshidratación son necesarios para asegurar cortos tiempos de proceso y para limitar al máximo las reacciones de deterioro inducidas por el calor (24).

Pelado.

Se elimina la piel y la capa cerosa de la fruta ya que ésta inhibe la transferencia de humedad durante el secado. El pelado se hace sumergiéndola la fruta dentro de agua caliente o en soluciones diluidas de sosa (24).

Escaldado.

El escaldado se realiza para inactivar las enzimas causantes del oscurecimiento enzimático de las frutas. El escaldado consiste en sumergir la fruta en un baño de agua caliente antes de su procesamiento. El escaldado no favorece la deshidratación debido a que se afecta la permeabilidad de las membranas celulares, teniendo como consecuencia una elevada absorción de solutos y poca pérdida de agua (24).

A.3 FORMA Y TAMAÑO DE LAS REBANADAS.

El tamaño de la superficie de contacto entre la fruta y el jarabe, influencia la pérdida de agua y el intercambio de azúcar durante el proceso osmótico (20).

Si la fruta se corta en piezas pequeñas la distancia que debe recorrer el agua durante la deshidratación es menor. Esto aumenta la velocidad de deshidratación por aumento en la relación del área al peso de la pieza. Sin embargo, la división que incluye el corte de las células induce a un oscurecimiento enzimático, al poner en contacto la enzima, el sustrato y el oxígeno. Esto se previene sumergiéndola la fruta en una solución que contenga bisulfito de sodio, o exponiéndola la fruta a vapores de azufre por corto tiempo (10,24).

B.1 COMPOSICION Y CONCENTRACION DE LAS SOLUCIONES OSMOTICAS

El requerimiento termodinámico para producir la deshidratación parcial de la fruta es que la actividad de agua de la solución osmótica sea menor que la actividad de agua de la fruta. Existe una gran variedad de solutos que pueden reducir la actividad de agua de la solución circundante, sin embargo dado que el soluto también difunde al interior de la fruta, es necesario que sea compatible con las características sensoriales de ésta. Por esta razón los azúcares son los agentes osmóticos por excelencia cuando se trata la deshidratación osmótica de frutas. Los solutos utilizados en alimentos son azúcares como sacarosa, glucosa, fructosa, lactosa, jarabes de maíz, y polioles como sorbitol, manitol y glicerol. Las mezclas de algunos de ellos dan lugar a una deshidratación importante además de una buena calidad del producto final (21).

B.1.1 AZUCAR SECO.

Se ha observado que la sacarosa es el agente osmótico más utilizado en la deshidratación de frutas debido a su sabor, efectividad y bajo costo.

Al final del proceso de deshidratación, el azúcar y el agua extraída de la fruta producen un residuo de jarabe que debe ser utilizado de alguna manera. El jarabe tiene un sabor frutal fresco pronunciado, y un uso directo puede ser como jarabe de mesa. Aun cuando el jarabe queda con mucho sabor, la fruta retiene más su sabor, en comparación con los tratamientos tradicionales de secado, a la misma concentración de humedad (38).

B.1.2 JARABES.

El jarabe es más práctico que el azúcar seco para su uso como agente osmótico, ya que se puede reutilizar mejor el producto residual.

Hay evidencia de que la velocidad de deshidratación osmótica es casi tan rápida cuanto más concentrado sea el jarabe; sin embargo, el drenado de la fruta es más fácil cuando se utilizan jarabes ligeros de baja viscosidad (21,39).

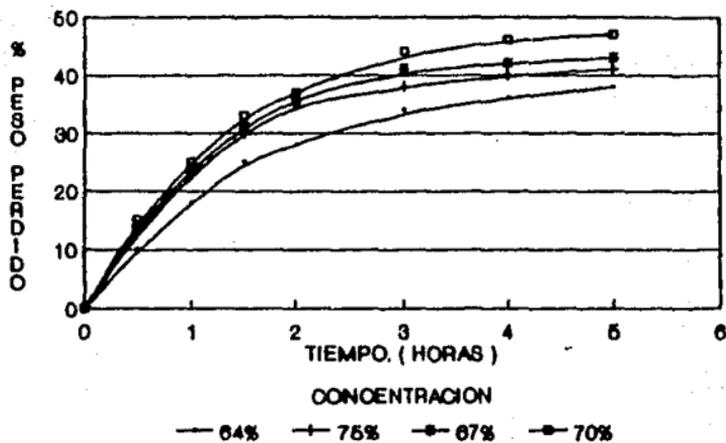
Generalmente se prefiere utilizar soluciones acuosas de azúcares, p.e jarabes, especialmente aquellos que contienen sacarosa o azúcar invertido hasta concentraciones de 65 - 75% .

En la figura 4 se presenta gráficamente el efecto de la concentración de azúcar (sacarosa) en la velocidad de deshidratación osmótica de rebanadas de manzana. Como se observa, la velocidad de la deshidratación no se incrementa considerablemente al utilizar jarabes con concentraciones superiores al 67% (38).

Si el contenido de azúcar está por encima del punto de saturación de la sacarosa, es preferible utilizar mezclas de azúcar - jarabe invertido. El azúcar invertido tiene la ventaja de ser más soluble que la sacarosa, y que puede utilizarse en elevadas concentraciones (49). La posibilidad de utilizar mezclas binarias de solutos con sacarosa es útil para reducir costos de los solutos y para mejorar la efectividad de la ósmosis (25,50).

El empleo de jarabe invertido teóricamente debiera ser más efectivo que la sacarosa a la misma concentración ya que al estar invertido hay el doble de moléculas por unidad de volumen. En la práctica la velocidad de deshidratación es muy similar cuando se utiliza jarabe invertido en comparación con la sacarosa a la misma temperatura. Esto se debe a la presencia de carbohidratos de elevado peso molecular que penetran con mucha mayor dificultad dentro de la fruta y que reducen la efectividad de difusión de las moléculas más pequeñas de fructosa (32).

FIGURA 4



EFFECTO DE LA CONCENTRACION DE AZUCAR
EN LA VELOCIDAD DE DEHIDRACION
OSMOTICA DE REBANADAS DE MANZANA (38).

B.2 ACTIVIDAD ACUOSA DE LAS SOLUCIONES OSMÓTICAS.

La actividad acuosa de las soluciones se calcula teóricamente mediante la ecuación de Norrish (36) para soluciones acuosas de no electrolitos puros para sistemas binarios:

$$A_w = x_1 \exp(-k x_2^2)$$

Donde x_1 y x_2 son las fracciones molares del agua y del soluto (no electrolito) respectivamente, y k es una constante de correlación.

Los valores de la constante de correlación de los solutos empleados en la deshidratación osmótica de frutas se muestran en el cuadro VI.

CUADRO VI

Valores de la constante -K para soluciones binarias de no electrolitos.	
Soluto	-K
glicerol	1.16
sorbitol	1.65
glucosa	2.25
fructuosa	2.25
sacarosa	6.47
maltosa	4.54
jarabe de maíz de 42° DE	2.31
Azúcar invertido	-0.70

Ecuación de Ross.

La ecuación de Ross (44) es una predicción de la actividad de agua, en donde se considera que la actividad de agua total del sistema es el producto de las actividades de agua de los componentes individuales como si estos estuvieran disueltos

aisladamente en el agua del sistema. La ecuación es la siguiente:

$$A_w = (A_{w1}) (A_{w2}) (A_{w3}) (A_{wn})$$

Donde A_{w1} , A_{w2} , A_{w3} y A_{wn} son las actividades de agua de las soluciones individuales de cada soluto medidas en sus concentraciones en el sistema. En presencia de materiales no solubles, la A_w puede calcularse para cada no-soluto con base en su isoterma de adsorción, suponiendo que toda el agua es adsorbida en cada no-soluto separadamente.

B.2.3 CINÉTICAS DE DESHIDRATACION OSMÓTICA.

Los estudios de las velocidades de deshidratación durante el proceso osmótico realizados por Hawkes y Flink (23) determinaron que la cantidad de sólidos ganados por la fruta debido a la penetración de sustancias solubles desde el medio osmótico y el coeficiente de transporte de masa son factores significativos que afectan la remoción de agua y la calidad del producto osmodeshidratado.

Los parámetros que determinan la efectividad de la deshidratación son el porcentaje de agua perdida, el porcentaje de sólidos ganados, el porcentaje de sólidos totales, el porcentaje de peso perdido y el contenido de sólidos normalizados.

Los datos utilizados para calcular los parámetros se basan en la ganancia total de sólidos, asumiendo que los solutos presentes inicialmente en la fruta no difunden en el medio osmótico mucho más concentrado.

Parámetros de deshidratación.

$$\% Ap = \frac{(w_{w0}) - (tw - w_s)}{(w_{s0} + w_{w0})} \times 100 \quad [\text{g agua/100g peso inicial de la fruta}]$$

$$\% Sq = \frac{(w_s - w_{s0})}{w_{s0} + w_{w0}} \times 100 \quad [\text{g sólidos / 100 g peso inicial de la fruta}]$$

$$\% St = \frac{w_s}{tw} \times 100 \quad [\text{g sólidos/ 100g fruta}]$$

$$\% PP = Ap - Sq$$

$$CSN = \frac{w_s}{w_{s0}}$$

DONDE :

% Ap = porcentaje de agua perdida

% Sq = porcentaje de sólidos ganados

% St = porcentaje de sólidos totales

% PP = porcentaje de pérdida de peso

CSN = Contenido de sólidos normalizado (adimensional).

w_{w0} = peso inicial de agua

w_{s0} = peso inicial de sólidos

tw = peso de la fruta al momento de muestrear

w_s = peso de sólidos en la fruta al momento de muestrear

El contenido de sólidos normalizado que representa el cambio del porcentaje total de sólidos en relación con los sólidos totales al inicio del tratamiento, se utiliza para calcular el coeficiente de transporte de masa k' , que se obtiene de la gráfica CSN vs tiempo ^{1/2}.

$$CSN = k'(T)^{1/2}$$

en donde t = tiempo de muestreo.

El coeficiente de transporte de masa k' aumenta con el aumento de la velocidad de deshidratación de la fruta, e indica una buena idoneidad del producto a la deshidratación osmótica (11).

B.3.1 RECONCENTRACION DEL JARABE.

Durante la ósmosis algunos componentes volátiles responsables del sabor difunden a través de las paredes celulares al jarabe, por lo cual el jarabe después de la ósmosis tiene un sabor frutal. Este jarabe puede ser reutilizado como agente osmótico por medio de reconcentración, o si se prefiere se puede utilizar en la industria de enlatados para frutas o como jarabe de mesa (5).

La concentración del jarabe no es crítica, especialmente entre 65 y 75 % de azúcar, sin embargo, el jarabe de sacarosa debido a que se utiliza cerca de su límite de solubilidad, presenta problemas de saturación por lo que es más práctico utilizar mezclas de jarabes de sacarosa y de azúcar invertido cuando se someten a procesos de reconcentración.

C.1 DURACION DEL TRATAMIENTO OSMOTICO.

La mayoría de los estudios se han realizado en sistemas con jarabes de sacarosa concentrados. Se ha observado que, manteniendo constante la concentración de la solución osmótica, un incremento en el tiempo de contacto da como resultado un incremento en la pérdida de peso, o simplemente una mayor deshidratación. Sin embargo, el tiempo de deshidratación debe ser lo más pequeño posible para obtener una mayor pérdida de peso en comparación con una menor absorción de soluto (30).

Generalmente no es provechoso usar la deshidratación osmótica para una reducción de peso mayor del 50%, por la reducción en la velocidad de ósmosis con el tiempo.

Se ha encontrado que la mayor velocidad de deshidratación ocurre durante las dos primeras horas del tratamiento. Es necesario determinar la velocidad óptima de deshidratación para hacer el proceso práctico (30).

C.2. RELACION FRUTA A SOLUCION OSMOTICA

La velocidad de osmosis aumenta con el aumento en la relación solución osmótica a fruta, sin embargo al aumentar la relación hay más dificultades prácticas en el manejo de la mezcla jarabe- fruta durante el proceso (25).

En el caso del azúcar seco, la relación óptima con respecto a la fruta usada en deshidratación osmótica se determina por dos factores:

- 1.- Un depósito suficiente de azúcar para obtener la remoción deseada de agua, sin una disminución significativa en la velocidad.
- 2.- Una adecuada solubilidad del azúcar, para obtener al final del proceso un jarabe y no azúcar sólido, para poder escurrirlo fácilmente (23).

C.3 EFECTO DE LA TEMPERATURA.

La velocidad de osmosis se incrementa considerablemente al aumentar la temperatura del sistema.

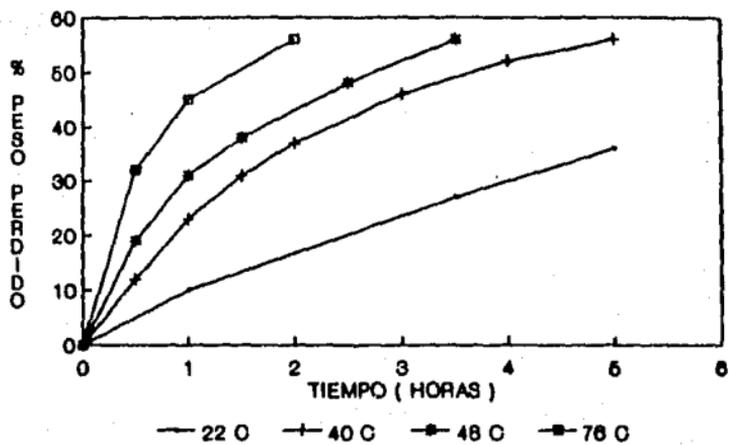
Este incremento en la velocidad se debe a que la viscosidad de las soluciones disminuye con el incremento de la temperatura, favoreciendo así una distribución uniforme del jarabe alrededor de la fruta, además de propiciar una concentración más homogénea.

En la figura 5 se aprecia efecto de la temperatura en la velocidad de deshidratación osmótica de rebanadas de manzana en sacarosa seca (39).

Una temperatura óptima puede ser 50°, en la cual la ósmosis es suficientemente rápida para hacer el proceso práctico sin provocar daños al producto. La fruta no se daña por un tratamiento largo en jarabe a temperatura baja, en parte debido a que el jarabe es un inhibidor efectivo de la enzima polifenol oxidasa causante del oscurecimiento (17).

Cuando la temperatura es superior a 50° C, la permeabilidad selectiva de la membrana de la fruta y la pared celular son destruidas por el tratamiento térmico, y el azúcar penetra por difusión, causando una impregnación en el tejido de la fruta, y su consecuente desintegración, además de propiciar cambios en el sabor del producto, y el desarrollo de reacciones de oscurecimiento (5,11,30).

FIGURA 6



EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA VELOCIDAD
DE DESHIDRATACION OSMOTICA DE REBANADAS
DE MANZANA EN SACAROSA SECA (38).

C.4 EFECTO DE LA AGITACION

Durante el curso de la ósmosis dentro de jarabes concentrados se forman zonas de dilución al rededor de la fruta que disminuyen la velocidad de deshidratación. Al utilizar sistemas agitados se evita la formación de esas zonas, propiciando una concentración uniforme de la solución osmótica.

La deshidratación osmótica es elevada cuando se utilizan sistemas de agitación dentro del jarabe, así como cuando se utiliza azúcar seco con agitación.

La agitación suave tiene poca influencia en la velocidad de ósmosis y en los coeficientes de transporte K a bajas concentraciones de soluciones osmóticas. Sin embargo cuando la concentración de la solución osmótica aumenta, hay aumento en la viscosidad y en la resistencia a la transferencia de masa, por lo que en sistemas agitados se obtiene un elevado valor del coeficiente de transporte de masa, comparado con los sistemas no agitados (23).

La presencia de aire en la superficie de la fruta, ya sea en forma de película o de burbujas en la interfase sólido-líquido se traduce en un aumento en la resistencia al transporte de materia, por lo cual la agitación es deseable para retirar las burbujas de la superficie (11).

2.6.0 PROCESOS POSTERIORES.

El alimento deshidratado por ósmosis puede ser sometido a tratamientos posteriores de varias maneras.

En algunos casos la deshidratación ósmótica se puede continuar hasta obtener una reducción en el contenido de humedad tal que que el producto sea autoestable, envasarlo y almacenarlo a temperatura ambiente como alimento seco hasta su consumo (49).

Cuando la ósmosis se continúa solo hasta una deshidratación parcial, con una reducción de peso del 40 al 60%, el producto puede congelarse o deshidratarse por métodos convencionales, p.e. secado por aire caliente, secado al vacío, con o sin calor, congelado, etc. (49)

Una propiedad importante del material que se va a secar es la isoterma de sorción, ya que ella determina el grado de secado requerido para obtener una A_w estable (25).

2.6.1 CONGELADO.

La fruta, una vez deshidratada al 50%, se puede congelar, para posteriormente reconstituirse. Generalmente se escalfa dentro del jarabe caliente después del tratamiento osmótico, y antes de la congelación, esto es con el fin de evitar el oscurecimiento durante la rehidratación debido a la baja temperatura de deshidratación combinada con el efecto protector del azúcar. Al congelar la fruta deshidratada por ósmosis el sabor y el color permanecen frescos y naturales (38).

2.6.2 SECADO POR AIRE.

La fruta deshidratada por ósmosis se puede secar por aire hasta un contenido de humedad de 5 ó 6 %, durante 7 horas a temperatura de 82 °C utilizando un pretratamiento con SO_2 . Generalmente se sumerge la fruta en una solución de 0.25% de bisulfito de sodio durante 1-3 min, antes de mezclar la fruta con el azúcar (12,38).

2.6.3 SECADO AL VACIO

La fruta deshidratada por ósmosis y secada al vacío tiene las siguientes características:

- el color permanece brillante sin ningún tratamiento de SO_2 .
- El contenido de humedad se puede reducir fácilmente a un nivel que solo se alcanza con la congelación.
- El sabor natural se retiene mejor que en la liofilización.

La estructura de la fruta no se colapsa durante el secado al vacío pero puede suceder si no se enfría antes de que haya terminado el vacío. El producto seco es quebradizo y con textura porosa. Esto, combinado con la reducción de la acidez durante la deshidratación osmótica, hace un producto excelente para comerse como botana (38).

2.6.4 CARACTERISTICAS DE REHIDRATACION.

Las frutas secas por ósmosis tienen una rehidratación más lenta que las frutas secas por otros métodos (no azucaradas), y además son menos higroscópicas, por lo que se pueden mantener al ambiente sin volverse pegajosas. Esto se debe a que el azúcar de la fruta no se rehidrata a la misma velocidad que el tejido de la misma (38).

2.7.0 VENTAJAS DEL PROCESO DE DESHIDRATACION.

1.- La fruta deshidratada por ósmosis no se somete a tratamientos de alta temperatura por tiempo prolongado, por lo tanto el daño producido en el color y sabor debido al calor es mínimo. Así mismo, el jarabe proporciona estabilidad a los pigmentos carotenoides durante el secado y el almacenamiento.

2.- El uso de azúcar o jarabe como agente osmótico, previene la pérdida del sabor frutal-fresco, que se da principalmente en métodos de secado por aire o al vacío.

3.- La elevada concentración de azúcar que rodea a la fruta previene la alteración en el color de la fruta por oscurecimiento enzimático oxidativo, ya que el azúcar actúa como barrera contra el paso del oxígeno. Por lo tanto se puede obtener un buen color en el producto final sin la necesidad de utilizar tratamientos químicos como el uso de SO_2 .

4.- Así como el agua es removida por la ósmosis, también la acidez de la fruta es removida. Ese bajo contenido de ácido combinado con la pequeña cantidad de azúcar añadida a la fruta por el baño osmótico, da un producto más suave y más dulce que el producido mediante secado por aire. Estos productos se comen como bocadillos, o se incorporan en varios productos como cereales para el desayuno y tartas (12,38).

INCONVENIENTES.

1.- La disminución de acidez mencionada anteriormente, puede ser una desventaja en ciertos productos. Si este es el caso, la acidez puede ser mantenida por adición de ácido de fruta al jarabe.

2.- Después del secado, se deja un residuo de azúcar en la fruta, y aunque solamente es una capa delgada en la superficie, puede ser indeseable. La superficie cubierta de azúcar, puede reducirse por un enjuague rápido con agua después de la deshidratación osmótica.

3.- La fruta tratada con azúcar o jarabe, al encontrarse a bajas humedades, muestra tendencias a la rancidez después del almacenamiento prolongado a temperatura ambiente, tal vez debido a la gran retención de los aceites del sabor en la fruta tratada osmóticamente. Esto se puede evitar al añadir un antioxidante de grasas en el empaque del producto seco. Por otra parte es necesario encontrar la humedad óptima para la máxima protección del color y del sabor con un mínimo de oxidación de la grasa (38).

3- MATERIALES Y METODOS

3.1 MATERIALES.

3.1.1. MATERIAS PRIMAS.

- Ciruela europea (*Prunus doméstica*), var. Santa Rosa adquirida en la Central de Abastos, de México, D. F.
- Jarabe de glucosa de 45° Bè. "La Gloria", Arancia.
- Sacarosa (azúcar comercial)

3.1.2. EQUIPO

- Balanza analítica BARTORIUS. Modelo 21432, No. serie 163032. Rango 0-200 g.
- Balanza semi analítica BRAINWEIGHT OHAUS. Modelo B1500D, No. de serie 10243. Rango 0-1500 g.
- Bomba eléctrica MICRO-PUMP, 1/2 HP.
- Cámara ambiental de temperatura y humedad controlada HOTPACK, modelo 317530, No. serie 236291.
- Cámara de refrigeración con controles de humedad y temperatura HOTPACK, modelo 317532, No. de serie 67529.
- Cámara de incubación con controles de humedad y temperatura PRECISION SCIENTIFIC.
- Espectrofotómetro de Reflectancia Relativa AGIRON. Modelo M-400 A.
- Espectrofotómetro UV. SHIMADZU. Modelo UV-210 A., No. Serie 1181667.
- Estufa de secado al vacío PRECISION SCIENTIFIC. Mod. 19, No. Serie 27AL/12.
- Estufa de convección mecánica PRECISION SCIENTIFIC. Mod. THELCO
- Higrómetro electrónico Thermoconstanter Humidat TH2/TH1. NOVABINA AG. Modelo TH/TRD. No. serie 461.
- Higrómetro electrónico DECAGON CX-1. No. Serie 1089311.
- Parrilla eléctrica con agitador magnético CORNING, modelo PC-351.
- Picador eléctrico Black & Decker.
- Potenciómetro digital CORNING. Modelo 125.
- Refractómetro ERMA, Modelo 16171.

- Secador de Charolas. Diez de Bollano SA de CV. Constructores.
- Selladora al vacío EUROPACK-DEN. Modelo Ha 02. BOSH.
- Película de envasado: CELOPOLIFOIL. (Laminado de celofán, polietileno, aluminio y resinas polifenólicas). CELLOPRINT SA DE CV.

3.1.3. MEDIOS DE CULTIVO.

- Azar Cuenta Estándar (BIUXON).
- Azar de Papa y Dextrosa (BIUXON).

3.2 METODOS DE ANALISIS.

A continuación se presentan los métodos de análisis utilizados en la evaluación fisicoquímica y microbiológica de la ciruela.

A.- Preparación de la muestra para su análisis.

a) Materia prima.

La ciruela fresca se peló sumergiéndola en agua hirviendo durante 20 segundos. Posteriormente se retiró el hueso de la pulpa y ésta se homogenizó en una licuadora. A la muestra se le practicaron los siguientes análisis: Actividad de agua (AW), humedad, pH, acidez, °Bx, azúcares reductores directos, azúcares reductores totales y rendimiento.

b) Producto terminado.

Al producto terminado se le realizaron análisis fisicoquímicos y microbiológicos al inicio del almacenamiento y posteriormente cada 15 días durante 3 meses. Antes de ser analizadas las muestras se picaron finamente con ayuda de un picador eléctrico y se guardaron en recipientes cerrados dentro de un refrigerador a 10°C. A cada muestra se le determinaron los siguientes parámetros:

Actividad de agua, pH, acidez, humedad, azúcares reductores directos, azúcares reductores totales, dióxido de azufre, ácido sórbico, color y oscurecimiento no enzimático. Los análisis microbiológicos comprendieron cuenta total microbiana, cuenta de hongos y cuenta de levaduras.

1.- ACTIVIDAD DE AGUA .

La actividad de agua de los jarabes se calculó teóricamente mediante las ecuaciones de Norrish y Ross (36,44).

Experimentalmente se determinó el valor de actividad de agua de la fruta introduciendo la muestra finamente picada dentro del higrómetro DECAON, previamente calibrado y a temperatura de 25° C.

2.- HUMEDAD.

La humedad se determinó gravimetricamente por secado, colocándose la muestra en una estufa de vacío a 70° C y 15 in Hg durante 8 horas, utilizando ácido sulfúrico como agente desecante (34).

3.- SÓLIDOS TOTALES.

El contenido de sólidos totales se determinó por diferencia en el porcentaje de humedad de la muestra.

4.- GRADOS BRIX.

Los grados Brix de los jarabes se determinaron mediante la lectura directa de la muestra en un refractómetro, obteniéndose así los sólidos solubles totales.

5.- ACIDEZ.

La acidez de las muestras se determinó por medio de una titulación con hidróxido de sodio 0.1 N, con indicador de fenoltaleína. Los resultados se reportaron como % de ácido málico (40).

6.- pH.

El pH se midió con un potenciómetro previamente calibrado, utilizando soluciones tampón estándar de pH= 5 y 7 (34).

7.-COLOR.

La medición del color se hizo mediante la lectura directa de la muestra (previamente homogenizada) en un espectrofotómetro de reflectancia relativa, AUTRON, calibrado a 0 y 100 utilizando los discos de calibración 0 y 90 respectivamente, en el rango de longitud de onda del color rojo.

8.-OSCURECIMIENTO NO ENZIMÁTICO.

El oscurecimiento no enzimático en la fruta se determinó por el método de Hendel modificado, haciendo una extracción de los pigmentos con alcohol al 70% durante 12 h. El incremento en absorbancia del extracto de la muestra, determinado a 440 nm se toma como la medida del oscurecimiento no enzimático (39,40).

Los resultados se expresan como:

$$E \frac{5\%}{1 \text{ cm}} 440 \text{ nm}$$

Donde:

E = extinción

1 cm = espesor de la celda

5% = factor de dilución.

440 nm = Longitud de onda

9.- AZUCARES REDUCTORES .

El contenido de azúcares reductores directos y totales se determinó por el método de Layne-Eynon, que se basa en la capacidad reductora de los azúcares con grupos aldehído y cetónico libres, sobre un compuesto cúprico en medio alcalino (solución de Fehling), formando un precipitado rojo de óxido de cobre. El contenido de azúcar se estima al determinar el volumen de solución de azúcar requerida para reducir completamente un volumen conocido de la solución de Fehling (40).

10.- DIOXIDO DE AZUFRE.

El método empleado para la determinación de dióxido de azufre consiste en la destilación del ión sulfito previamente liberado al tratar la muestra con ácido clorhídrico diluido. El ión sulfito destilado se recibe en una solución que contiene almidón y se titula intermitentemente con una solución estandar de yodo (14).

11.- ACIDO SORBICO.

El contenido de ácido sórbico se determinó por el método de Schmidt modificado, el cual se basa en la conversión de sorbato a ácido sórbico, y su subsecuente oxidación en una solución ácida de dicromato de potasio para formar un monoaldehído, el cual se hace reaccionar con ácido tiobarbitúrico para dar un compuesto rojo que absorbe a una longitud de onda de 530 nm (37).

12.- RENDIMIENTO.

El porcentaje de rendimiento de la pulpa de ciruela con respecto a la fruta entera se determinó de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{peso de la pulpa}}{\text{peso inicial de la fruta}} \times 100$$

13.- ANALISIS MICROBIOLOGICOS .

Se realizaron análisis microbiológicos al producto terminado al inicio del almacenamiento y posteriormente cada 15 días durante 3 meses. Los análisis fueron los siguientes:

A) Cuenta total. (Bacterias mesofílicas aerobias). Se hicieron diluciones decimales sucesivas de la fruta en agua peptonada al 0.1%. Se transfirió 1 ml de cada dilución en cajas petri a las que se adicionó agar para cuenta estándar, se homogenizó y se dejó solidificar para ser incubadas a 36^o C +/- 1 durante 72 h (33).

B) Hongos y levaduras. Se efectuaron diluciones decimales de la misma manera que para Cuenta total. Se transfirió 1 ml de cada

dilución a cajas petri y se le agregó agar de papa y dextrosa acidificado con ácido tartárico. Se homogenizó y se dejó solidificar. Las muestras se separaron en dos series. Una serie de cajas se incubó a 22° C durante 5 días para la cuantificación de hongos, y la otra se incubó a 35° C durante 48 h, para la cuantificación de levaduras (33).

14.- CINÉTICAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA .

La determinación de los parámetros de deshidratación osmótica (actividad de agua, % de sólidos ganados, % de agua perdida, % de sólidos totales y contenido de sólidos normalizado) se realizó de la siguiente manera :

Se utilizaron frutas de tamaño y peso similar (aproximadamente 4 cm de diámetro y 50 g de peso), se pelaron y se cortaron en cuartos. Los cuartos de fruta se pesaron individualmente y se marcaron utilizando alfileres de colores. A continuación se colocaron dentro de las soluciones osmóticas, tanto en el método estático como en el método dinámico (23).

Posteriormente se retiraron muestras del sistema a los tiempos 0, 0.25, 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, 3, y 4 h. Cada muestra se enjuagó con agua destilada para remover el exceso de jarabe y se secó con una tela para eliminar la humedad superficial. Cada muestra se pesó nuevamente , se le determinó su valor de actividad de agua (AW) y el peso de sólidos totales (tw). El peso de los sólidos al momento de muestrear (ws) se determinó gravimétricamente por secado al vacío. Utilizando la ecuaciones de Hawkes y Flink (48) se calculó el % de sólidos ganados, % de agua perdida , % de sólidos totales y el contenido de sólidos normalizado para evaluar el valor de la constante K. Todos los análisis se realizaron por cuadruplicado. Los datos se sometieron a un análisis de varianza. Las diferencias se identificaron con una prueba de Duncan con un nivel de significancia del 5% (23).

15.- ANALISIS SENSORIAL.

El análisis sensorial de las muestras se realizó por medio de una prueba de nivel de agrado, al inicio y al final del almacenamiento, utilizando una escala hedónica semi-estructurada de 10 cm de longitud.

Las muestras se identificaron con números aleatorios. Cada muestra fue evaluada por 60 jueces no entrenados (estudiantes de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, I.P.N). A cada juez se le proporcionaron dos muestras distintas para su evaluación.

Las marcas en la escala no estructurada se tradujeron a calificaciones numéricas midiendo (en centímetros) la distancia que hay entre el extremo izquierdo y la marca indicada por el juez. Las calificaciones así obtenidas se sometieron a un análisis de varianza para determinar el efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento sobre el color y el sabor de los productos.

En la figura 6 se muestra el formato presentado a cada juez para llevar a cabo la evaluación sensorial del producto.

FIGURA 6

EVALUACION SENSORIAL

NOMBRE _____

PRODUCTO _____

INSTRUCCIONES

- 1.- Observe la muestra y anote una marca (x) sobre la escala que represente su opinión con respecto al color.
- 2.- Pruebe la muestra y marque sobre la escala su opinión con respecto al sabor.
- 3.- Antes de probar la segunda muestra tome un poco de agua y espere unos segundos.

MUESTRA No. _____

COLOR

disgusta

gusta

SABOR

disgusta

gusta

MUESTRA No. _____

COLOR

disgusta

gusta

SABOR

disgusta

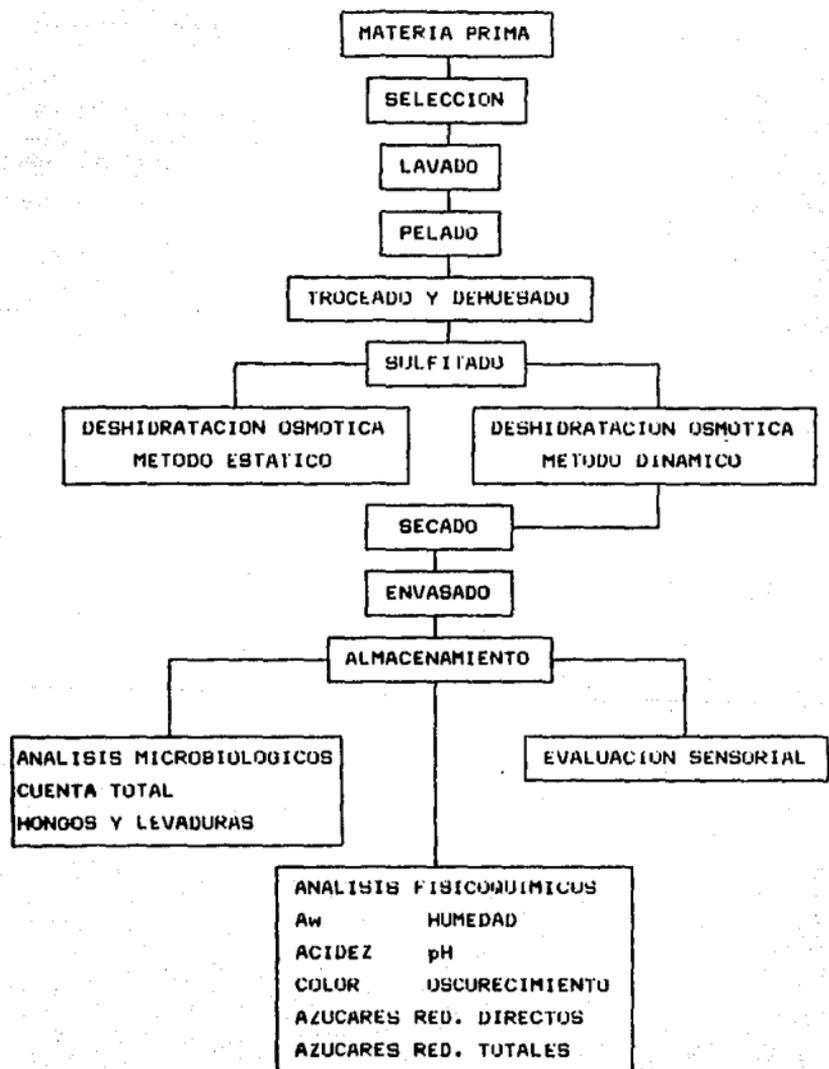
gusta

COMENTARIOS. _____

4- DESARROLLO EXPERIMENTAL

FIGURA 7

DESARROLLO EXPERIMENTAL



4.0 DESARROLLO EXPERIMENTAL

El desarrollo experimental para la obtención de Ciruelas troceadas de humedad intermedia se llevó a cabo de acuerdo al diagrama mostrado en la figura 7. A continuación se explican detalladamente los procedimientos utilizados para la realización del mismo.

4.1 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA.

La ciruela se seleccionó y se sometió a un proceso de acondicionamiento antes de ser deshidratada por ósmosis, tanto en la determinación de las cinéticas de deshidratación como en la obtención del producto final.

La selección se realizó de acuerdo al estado de madurez de la fruta, el cual se determinó visualmente por la coloración externa y por la firmeza al tacto. Se utilizaron las frutas que presentaron el epicarpio de color rojo brillante y consistencia firme. Se eliminaron los frutos verdes y los muy maduros. También se seleccionaron por tamaño; se utilizaron frutos de aproximadamente 4 cm de diámetro. Posteriormente las ciruelas se lavaron con agua corriente y se pelaron sumerqiéndolas en agua hirviendo, durante 20 segundos. El desprendimiento del epicarpio así como el troceado y el deshuesado se hicieron en forma manual. A continuación los trozos de ciruela se sumergieron en una solución que contenía 600 ppm de dióxido de azufre durante 5 minutos, con el objeto de evitar el oscurecimiento de la fruta durante su manipulación antes de ser sometida a la deshidratación.

4.2 FORMULACION DE LAS SOLUCIONES OSMOTICAS.

Se formularon 6 soluciones osmóticas diferentes para la deshidratación de la fruta, utilizando mezclas de sacarosa y jarabe de glucosa de 45° B^é como solutos. Las composiciones se calcularon utilizando las ecuaciones de Norrish y Ross (36 dd) para obtener valores de actividad de agua de 0.80, 0.85 y 0.90.

Se desarrollaron dos formulaciones de soluciones osmóticas para cada valor de actividad de agua. Se denominaron formulaciones G a las que presentaron mayor concentración de jarabe de glucosa y formulaciones S a las que presentaron mayor concentración de sacarosa. A continuación de la letra se le colocó un número (1, 2 ó 3) para identificar a las soluciones osmóticas dependiendo de su valor de actividad de agua : 0.80, 0.85 y 0.90 respectivamente.

Así mismo se realizaron pruebas para determinar las concentraciones de dióxido de azufre (como metabisulfito de sodio) y sorbato de potasio (como ácido sórbico) que debían contener las soluciones, ya que durante el tratamiento osmótico los trozos de fruta absorben determinadas cantidades de conservador dependiendo de la concentración inicial en el jarabe.

4.3 DESHIDRATACION OSMOTICA

La deshidratación osmótica de la fruta se realizó utilizando tanto el método estático como el método dinámico. De los resultados logrados con ambos métodos se seleccionaron las condiciones de proceso para la obtención del producto final. A continuación se explican las características específicas de cada uno de los métodos.

4.3.1 METODO ESTATICO.

La deshidratación osmótica por el método estático consistió en colocar la fruta y la solución osmótica dentro de recipientes cerrados en el interior de una incubadora, a temperatura constante de 45°C durante un periodo de tiempo de 8 h. La relación entre el peso de la fruta y de la solución osmótica fué de 1:2 y 1:5. Una vez transcurrido el tiempo de tratamiento, la fruta se retiró del baño y se enjuagó con agua destilada durante 15 segundos para eliminar el exceso de jarabe.

4.3.2 METODO DINAMICO.

La deshidratación osmótica por el método dinámico consistió en hacer circular un flujo constante de solución osmótica por medio de una bomba eléctrica, sobre un lecho de ciruelas colocadas en mallas de aluminio dentro de cajas rectangulares de acrílico, con una capacidad de 3 lt. La temperatura del sistema se mantuvo a 45°C con ayuda de una resistencia eléctrica, durante un periodo de tiempo de 4 horas.

La velocidad de flujo de la solución osmótica fué de 800 ml/min. La relación entre el peso de la fruta y de la solución osmótica fué de 1:6. Se determinaron los grados Brix de la solución a lo largo del proceso para asegurar que la concentración se mantuviera constante.

4.4 SELECCION DE LAS CONDICIONES DE PROCESO.

La selección de las condiciones del proceso se realizó tomando como referencia el método estático de deshidratación. Los parámetros evaluados fueron los siguientes:

- A.- Composición de la solución osmótica a utilizar.
- B.- Relación entre la cantidad de fruta y de solución osmótica.
- C.- Tiempo de duración del proceso.

El tratamiento consistió en sumergir mitades de ciruela en las 6 diferentes soluciones osmóticas (con actividades de agua de 0.80, 0.85 y 0.90) dentro de recipientes cerrados, con una relación entre el peso de la fruta y de la solución osmótica de 1:2 y 1:5. Los recipientes fueron colocados en el interior de una incubadora a temperatura de 45°C, durante un tiempo de 8 horas.

Se tomaron muestras de ciruela a las 4, 6 y 8 horas de tratamiento. Cada muestra se enjuagó con agua destilada durante 15 segundos para eliminar el exceso de jarabe y se secó con una tela para remover la humedad superficial. A estas muestras se les determinó su valor de actividad de agua. Los datos obtenidos se

analizaron estadísticamente utilizando un diseño factorial 2^3 en donde la variable de respuesta fué la actividad de agua. Con base en los resultados obtenidos de este análisis, se seleccionaron las soluciones osmóticas más efectivas para la deshidratación, así como el tiempo de tratamiento y la relación entre el peso de la fruta y el peso de la solución osmótica

4.5 EFECTO DEL TAMAÑO DE LA FRUTA EN LA VELOCIDAD DE DESHIDRATACION OSMOTICA.

El efecto del tamaño de los trozos de fruta en la velocidad de deshidratación osmótica se determinó utilizando condiciones de referencia para posteriormente aplicar los resultados a los dos métodos de deshidratación y con las soluciones osmóticas restantes.

Las condiciones de referencia fueron las siguientes:

Método de deshidratación: Dinámico

Solución osmótica utilizada: Formulación O2 ($A_w = 0.05$)

Tiempo de tratamientos: 4 horas.

Temperatura del sistema: 45°C

Tamaño de las rebanadas: mitades y cuartos de ciruela.

La velocidad de deshidratación se evaluó por medio de las cinéticas de migración de solutos y agua. Los parámetros a estudiar fueron: Actividad de agua, porcentaje de humedad, porcentaje de agua perdida, porcentaje de sólidos ganados y porcentaje de sólidos totales.

4.6 DETERMINACIÓN Y COMPARACIÓN DE LAS CINÉTICAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

Las cinéticas de deshidratación osmótica de ciruela se realizaron aplicando las ecuaciones de Hawkes y Flink (23), utilizando tanto el método estático como el método dinámico de deshidratación.

En ambos métodos, para cada solución se determinaron los siguientes parámetros:

- Contenido de sólidos normalizado.
- Valor de la constante de transferencia de masa (K).
- Actividad de agua (Aw)
- Porcentaje de agua perdida (Ap).
- Sólidos ganados (Bg).
- Sólidos totales (St).
- Porcentaje de pérdida de peso (Pp)

Para el método estático se utilizaron las 6 formulaciones de solución osmótica (con valores de actividad de agua de 0.80, 0.85 y 0.90), aplicando las condiciones de proceso siguientes:

Tiempo de tratamiento: 4 horas

Relación fruta a solución osmótica: 1:2

Temperatura del tratamiento: 45°C

Tamaño de las rebanadas: cuartos de ciruela

Agitación del sistema: nula

Formulaciones osmóticas: S1, G1 (Aw=0.80); S2, G2 (Aw=0.85); S3, G3 (Aw=0.90).

Con los resultados obtenidos se evaluó el efecto de la concentración y composición de las soluciones osmóticas sobre la deshidratación de la ciruela y se seleccionaron las soluciones osmóticas más efectivas para el proceso.

Del estudio de las cinéticas de deshidratación del método estático se determinó la mayor efectividad de las soluciones osmóticas S2 y

02 para el proceso. Con estas soluciones se realizaron las cinéticas de deshidratación para el método dinámico.

Los resultados obtenidos en el método dinámico se compararon con los resultados del método estático para las mismas formulaciones de solución osmótica (S2 y 02) y con ellos se evaluó la efectividad entre ambos métodos.

Las condiciones de proceso para el método dinámico fueron las siguientes:

Tiempo de tratamiento: 4 horas
Relación fruta a solución osmótica: 1:6
Temperatura del tratamiento: 45°C
Tamaño de las rebanadas: cuartos de ciruela
Agitación del sistema: Recirculación de Jarabe 800 ml/min
Formulaciones osmóticas: S2 y 02

4.7 OBTENCIÓN DE CIRUELAS TROCEADAS DE HUMEDAD INTERMEDIA.

Con base en los resultados obtenidos de las cinéticas de deshidratación se determinó la mayor efectividad del método dinámico para la deshidratación de ciruela.

Se procedió a deshidratar osmóticamente dos lotes de ciruela (utilizando las formulaciones S2 y 02) por el método dinámico, utilizando las condiciones del proceso seleccionadas por medio del estudio estadístico de las cinéticas de deshidratación osmótica.

Una vez transcurrido el tiempo de proceso, se retiraron las ciruelas de la solución osmótica y se sometieron a un enjuague durante 15 segundos para remover el exceso de jarabe. Se colocaron dentro de un secador de charolas a temperatura de 50°C, durante 6 h. A continuación se envasaron al vacío en porciones de 150 g dentro de bolsas de aluminio-polietileno (celopolifoil), y se almacenaron durante tres meses en las siguientes temperaturas:

10°C dentro de una cámara de refrigeración con HR = 75 %

25°C dentro de una cámara ambiental con HR = 80 %

35°C dentro de una incubadora, con HR = 60 %

4.8 ANALISIS DE LA ESTABILIDAD FISICOQUIMICA Y MICROBIOLOGICA DURANTE EL ALMACENAMIENTO.

4.8.1 ESTABILIDAD FISICOQUIMICA.

Se tomó una muestra de cada lote y temperatura al inicio del almacenamiento y posteriormente cada 15 días para evaluar su estabilidad fisicoquímica. Se realizaron análisis de actividad de agua, humedad, pH, acidez, color, pardeamiento no enzimático, azúcares reductores directos y totales, dióxido de azufre y ácido sórbico.

4.8.2 ESTABILIDAD MICROBIOLOGICA.

Se tomó una muestra de cada lote y temperatura al inicio del almacenamiento y posteriormente cada 15 días para determinar la cuenta total bacteriana, cuenta de hongos y cuenta de levaduras.

4.8.3 EVALUACION SENSORIAL.

Se realizó la evaluación sensorial de los productos al inicio y al final del almacenamiento, utilizando una escala hedónica semi-estructurada. Los parámetros evaluados para cada formulación fueron color y sabor.

4.9 ANALISIS DE DATOS.

Los datos obtenidos de los estudios de estabilidad fisicoquímica y de la evaluación sensorial se sometieron a un análisis de varianza para evaluar el efecto de las condiciones del almacenamiento (tiempo y temperatura) sobre la estabilidad del producto.

5.0 RESULTADOS

5.1 CARACTERIZACION DE LA CIRUELA EUROPEA

Prunus doméstica Var Santa Rosa.

Los resultados obtenidos de la caracterización fisicoquímica de la ciruela fresca se muestran en el cuadro VII. En él se puede observar que la humedad de la ciruela es del 83.81 % y la actividad de agua es igual a 0.987. Estas características hacen que la ciruela sea un medio propicio para el desarrollo de reacciones de deterioro, tanto químicas como microbiológicas.

CUADRO VII

COMPOSICION FISICOQUIMICA	
Actividad de agua	0.987
pH	3.23
% Acidez (% ácido málico)	1.70
% Humedad	83.81
% Azúcares reductores:	
Directos	2.68
Totales	5.78
Grados Brix	13.50
% Rendimiento*	79.30

* % RENDIMIENTO: Peso de la pulpa / peso de la fruta x 100

5.2 COMPOSICION DE LAS SOLUCIONES OSMOTICAS.

Las concentraciones de las soluciones osmóticas se muestran en los cuadros VIII, IX y X. Como se explicó anteriormente se desarrollaron dos formulaciones de soluciones osmóticas para cada valor de actividad de agua seleccionado (0.80, 0.85 y 0.90). Todas las formulaciones se realizaron con mezclas de sacarosa y jarabe de glucosa.

Las soluciones O contenían mayor proporción de jarabe de glucosa y las soluciones S contenían mayor concentración de sacarosa. Las soluciones S1 y O1 se formularon para obtener una actividad acuosa igual a 0.80, las soluciones S2 y O2 se formularon para obtener una actividad acuosa de 0.85 y las formulaciones S3 y O3 para obtener un valor de $A_w = 0.90$.

A cada solución osmótica se le añadieron 900 ppm de sorbato de potasio como conservador y 400 ppm de dióxido de azufre (como metabisulfito de sodio) como antioxidante e inhibidor del oscurecimiento no enzimático.

CUADRO VIII

COMPOSICION DE LAS SOLUCIONES OSMOTICAS CON ACTIVIDAD ACUOSA = 0.80

FORMULA	O1	S1
GLUCOSA %	68.3	28.8
SACAROSA%	17.6	50.7
AGUA %	14.1	20.5
GRADOS BRIX	76.5	77.5
AC.SORBICO (ppm)	900	900
SO ₂ (ppm)	400	400

CUADRO IX

COMPOSICION DE LAS SOLUCIONES OSMOTICAS CON
ACTIVIDAD ACUOSA = 0.85

FORMULA	G2	S2
GLUCOSA %	66.5	30.5
SACAROSA%	11.6	43.3
AGUA %	21.9	26.2
GRADOS BRIX	70.5	71.3
AC.SORBICO (ppm)	900	900
SU ₂ (ppm)	400	400

CUADRO X

COMPOSICION DE LAS SOLUCIONES OSMOTICAS CON
ACTIVIDAD ACUOSA = 0.90

FORMULA	G3	S3
GLUCOSA %	46.1	10.6
SACAROSA%	15.0	49.9
AGUA %	38.9	34.5
GRADOS BRIX	59.0	63.0
AC.SORBICO (ppm)	900	900
SU ₂ (ppm)	400	400

5.3 SELECCION DE LAS CONDICIONES DE TRATAMIENTO.

En los cuadros XI y XII se muestran los valores de la actividad de agua de la ciruela obtenidos después de la deshidratación osmótica en sistemas en los que se varió la relación fruta a solución osmótica y tiempo de tratamiento. En el cuadro XI se muestran los resultados utilizando las soluciones osmóticas G1, G2 y G3. En el cuadro XII se muestran los resultados de las soluciones osmóticas B1, B2 y B3.

CUADRO XI

EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE TRATAMIENTO DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA SOBRE LA ACTIVIDAD ACUOSA DE LA CIRUELA.
SOLUCIONES OSMOTICAS G1, G2 Y G3.

RELACION FRUTA / SOL.OSMOTICA	SOLUCION OSMOTICA	TIEMPO DE TRATAMIENTO (h)	Aw DE LA FRUTA
1 : 2	G1	4	0.958.
		6	0.952
		8	0.938
	G2	4	0.958
		6	0.957
		8	0.949
	G3	4	0.968
		6	0.963
		8	0.966
1 : 5	G1	4	0.967
		6	0.963
		8	0.945
	G2	4	0.964
		6	0.964
		8	0.953
	G3	4	0.974
		6	0.967
		8	0.969

CUADRO XII

EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE TRATAMIENTO DE LA DESHIDRATACION OSMOTICA SOBRE LA ACTIVIDAD ACUOSA DE LA CIRUELA SOLUCIONES OSMOTICAS S1, S2 Y S3.

RELACION FRUTA / SOL.OSMOTICA	SOLUCION OSMOTICA	TIEMPO DE TRATAMIENTO (h)	A _w DE LA FRUTA
1 : 2	S1	4	0.949
		6	0.953
		8	0.943
	S2	4	0.955
		6	0.942
		8	0.951
	S3	4	0.949
		6	0.957
		8	0.955
1 : 5	S1	4	0.948
		6	0.952
		8	0.954
	S2	4	0.954
		6	0.951
		8	0.951
	S3	4	0.951
		6	0.944
		8	0.940

Se compararon estadísticamente los tratamientos con las soluciones osmóticas G y B, dando los siguientes resultados:

a) Relación fruta a solución osmótica

En el estudio del efecto de la relación fruta a solución osmótica tanto en los sistemas en que se utilizaron las soluciones G como en los que se utilizaron las soluciones B, se encontró que no hubo

diferencia significativa en los resultados de actividad acuosa de la fruta entre la relación fruta a solución osmótica 1:2 con respecto a la 1:5, es decir que la cantidad de solución osmótica no afectó la velocidad de deshidratación. Para los procesos posteriores se eligió la relación fruta a solución osmótica de 1:2 debido al menor gasto de solutos.

b) Composición de la solución osmótica.

En los sistemas en que se utilizaron las soluciones osmóticas O se determinó que no hubo diferencia significativa en los resultados al utilizar las formulaciones O1 y O2, pero si existió diferencia entre las soluciones O1 y O2 con respecto a la solución O3. Como se puede observar en el cuadro XI, se presentó una menor actividad de agua al utilizar las formulaciones O1 y O2 en comparación con la O3. Con base en estos resultados se seleccionó la formulación O2 con una actividad de agua de 0.85.

En los sistemas en que se utilizaron las soluciones osmóticas B se determinó que no hubo diferencia significativa en los valores de actividad de agua de la fruta, entre las formulaciones B1, B2 y B3. En este caso se seleccionó la formulación B2 con $A_w = 0.85$.

c) Tiempo de tratamiento.

El efecto del tiempo de tratamiento sobre la actividad acuosa de la fruta mostró para las formulaciones O que no existió diferencia significativa entre los tiempos de tratamiento 4 y 6 h, pero sí con respecto al tiempo 8 h. Se escogió el tiempo de tratamiento de 4 h porque la diferencia en el valor de A_w a 4 h con respecto al tiempo 8 h no era suficientemente grande como para justificar el aumento en el tiempo de tratamiento a 8 h.

En los sistemas en que se utilizaron las formulaciones B no existió diferencia significativa en los resultados entre los tiempos de tratamiento 4, 6 y 8 horas, por lo que se seleccionó el tiempo de tratamiento de 4 h.

De los resultados anteriores se seleccionaron como mejores solutos osmóticos las formulaciones G2 y S2, y como condiciones de tratamiento en el método estático, la relación fruta a solución osmótica 1:2 y el tiempo máximo de tratamiento 4 horas.

Con base en estos resultados, para el método dinámico de deshidratación se utilizaron únicamente las soluciones S2 y G2 y el tiempo de tratamiento de 4 horas.

5.4 SELECCION DEL TAMARO DE LA FRUTA EN LA DESHIDRACION OSMOTICA.

Las cinéticas de deshidratación osmótica para mitades y cuartos de ciruela presentadas en el cuadro XIII indican que a las mismas condiciones de tratamiento se obtiene una mayor deshidratación en los cuartos de ciruela comparados con las mitades, esto es, se obtiene una pérdida de humedad del 63% para los cuartos de ciruela y del 53% para las mitades. Con base en estos resultados se eligió el tamaño de cuartos para todos los tratamientos posteriores.

CUADRO XIII

Deshidratación osmótica de mitades y cuartos de ciruela.
Solución osmótica G2 con Actividad acuosa = 0.65

PARAMETROS DE DESHIDRACION	TAMARO DE LA FRUTA	
	MITADES	CUARTOS
ACTIVIDAD DE AGUA	0.950	0.937
HUMEDAD (%)	63.59	56.53
AGUA PERDIDA (%)	40.01	53.55
SOLIDOS GANADOS (%)	0.953	0.487
SOLIDOS TOTALES (%)	36.83	43.46
TIEMPO DE TRATAMIENTO (h)	4.0	4.0

5.5 CINÉTICAS DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Una vez seleccionadas las características del proceso de deshidratación por los métodos dinámico y estático (tiempo de tratamiento, relación fruta a solución osmótica y tamaño de la fruta) se determinaron las cinéticas de deshidratación. Se compararon los efectos de las soluciones osmóticas con un valor de actividad de agua igual sobre la deshidratación de la fruta: G1 con S1 ($A_w = 0.80$), G2 con S2 ($A_w = 0.85$) y G3 con S3 ($A_w = 0.90$) a los tiempos 0, 0.25, 0.50, 0.75, 1, 1.5, 2, 3 y 4 horas.

En las figuras 8 a 16 se muestra la variación en el contenido de sólidos normalizado, la disminución de la actividad acuosa y el porcentaje de agua perdida durante la deshidratación osmótica, empleando el método estático de deshidratación y en las figuras 17, 18 y 19 utilizando el método dinámico.

Las cinéticas de deshidratación osmótica utilizando el método dinámico se realizaron únicamente con las soluciones S2 y G2 debido a que presentaron mayor efectividad como solutos osmóticos en el método estático, comparados con las soluciones S1, G1, S3 y G3.

De los resultados de las cinéticas tanto del método estático como del método dinámico, con las mismas soluciones osmóticas se compararon los resultados

FIGURA 8
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS
NORMALIZADO. METODO ESTATICO. $A_w=0.80$

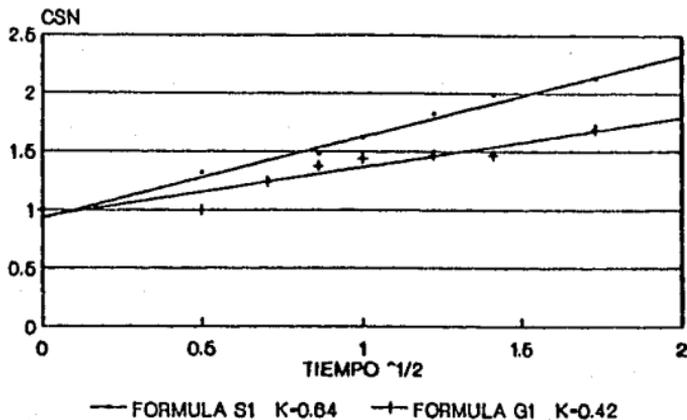


FIGURA 9
DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ACUOSA
METODO ESTATICO. $A_w=0.80$

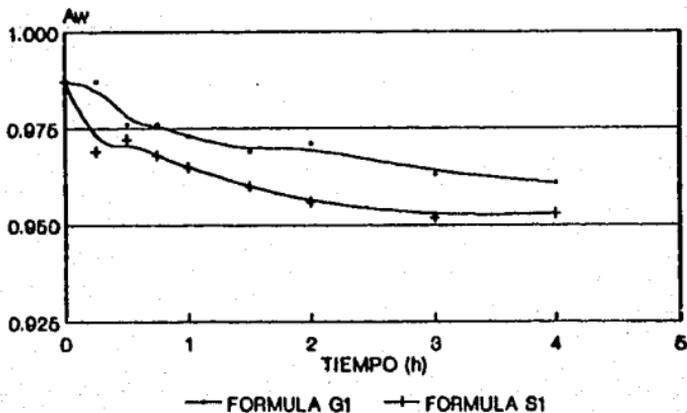


FIGURA 10
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE AGUA
PERDIDA. METODO ESTATICO. $A_w=0.80$

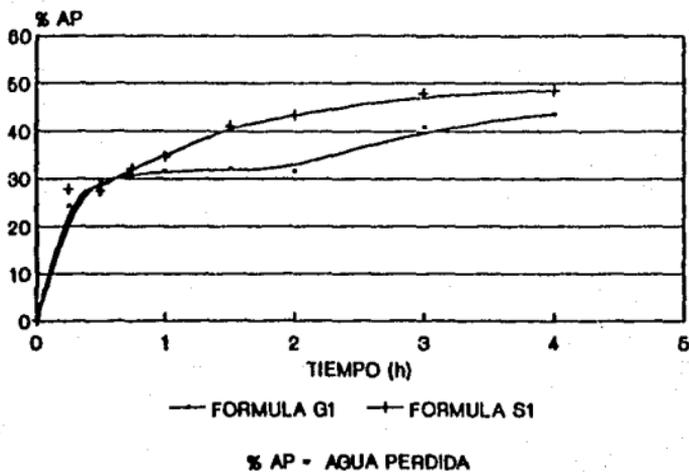


FIGURA 11
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS
NORMALIZADO. METODO ESTATICO. $A_w=0.85$

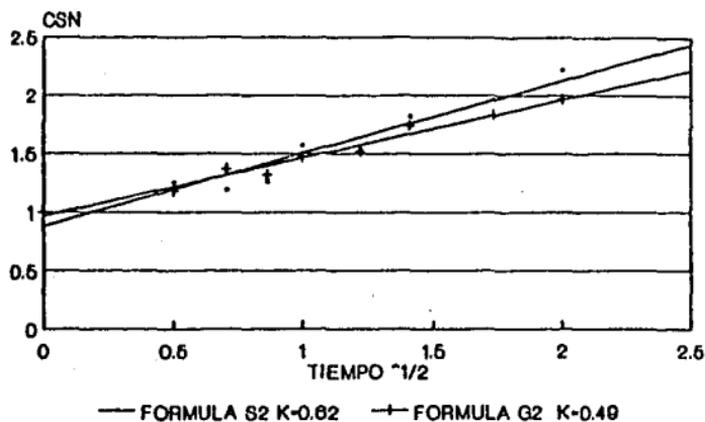


FIGURA 12
DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ACUOSA
METODO ESTATICO. $A_w=0.85$

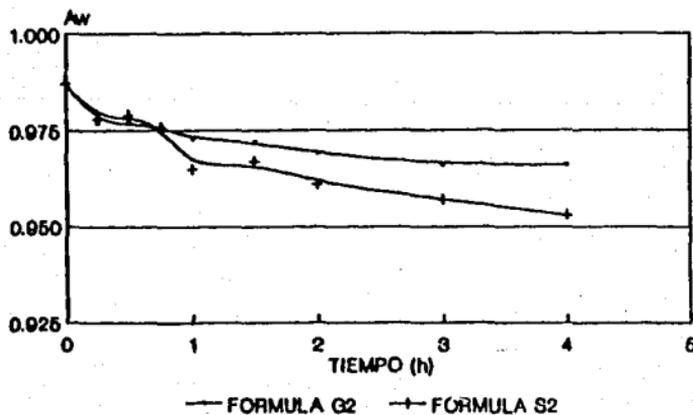


FIGURA 13
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE AGUA
PERDIDA. METODO ESTATICO. $A_w=0.85$

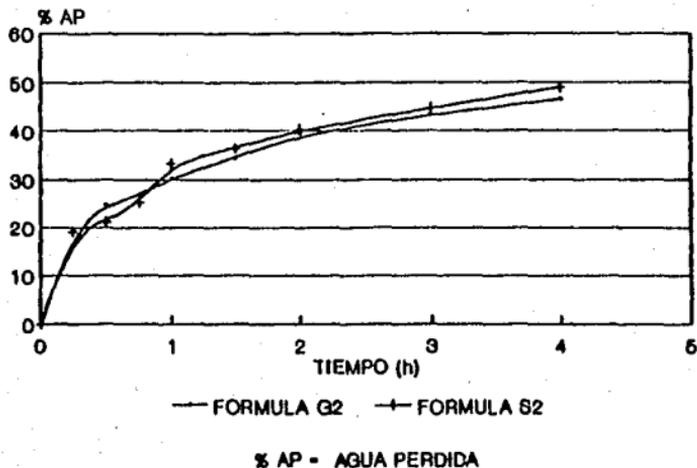


FIGURA 14
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS
NORMALIZADO. METODO ESTATICO. $A_w=0.90$

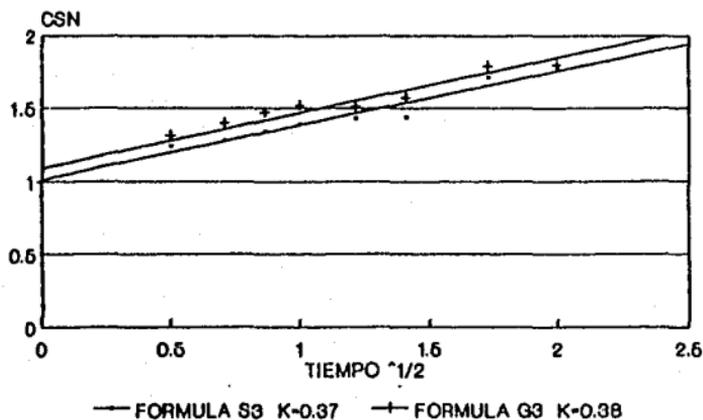


FIGURA 15
DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ACUOSA
METODO ESTATICO. $A_w=0.90$

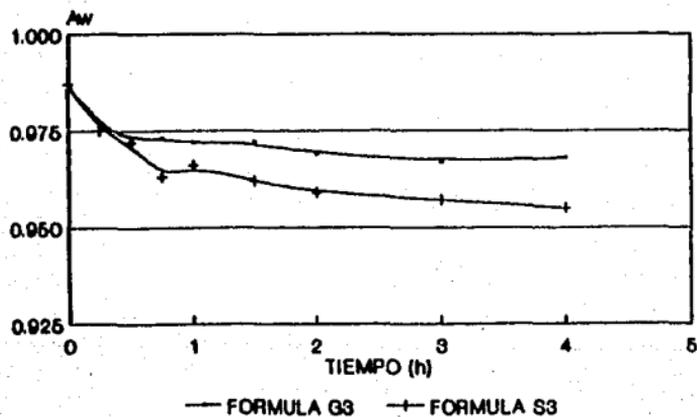


FIGURA 18
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE AGUA
PERDIDA. METODO ESTATICO. $A_w=0.90$

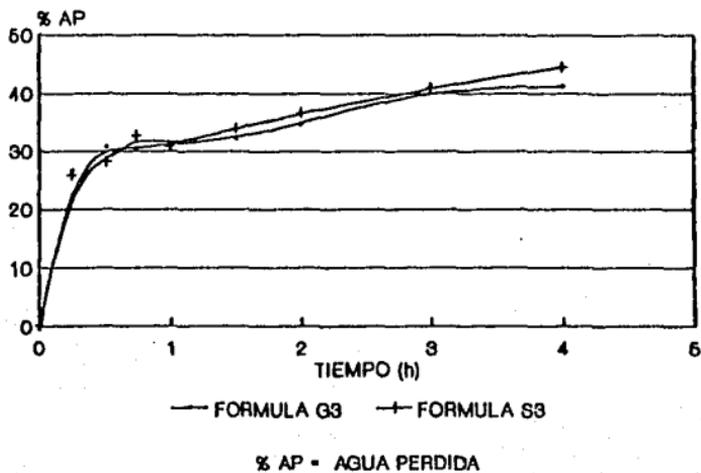


FIGURA 17
DETERMINACION DEL CONTENIDO DE SOLIDOS
NORMALIZADO. METODO DINAMICO. A_w 0.85

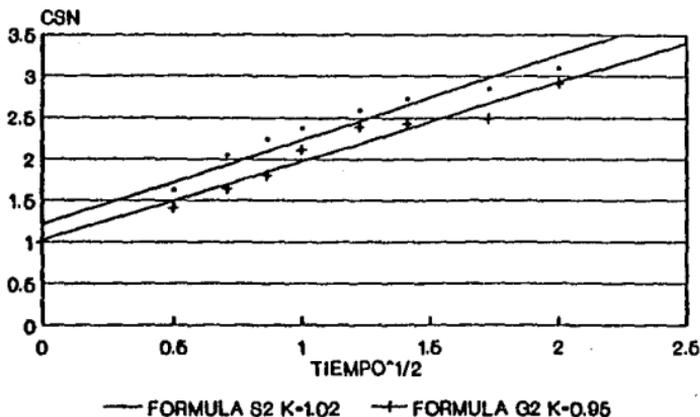


FIGURA 18
DETERMINACION DE LA ACTIVIDAD ACUOSA
METODO DINAMICO. A_w 0.85

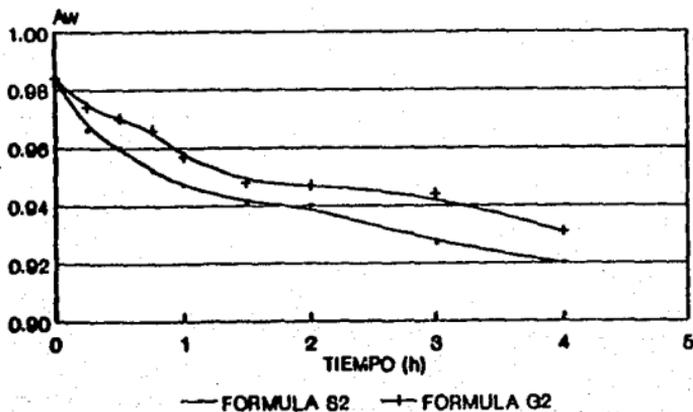
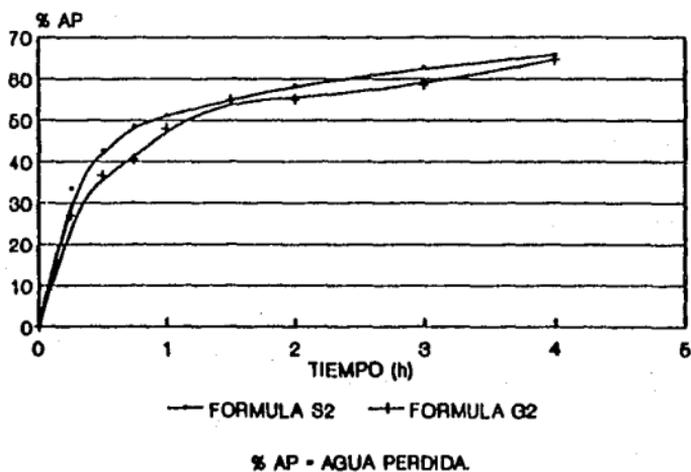


FIGURA 19
DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE AGUA
PERDIDA. METODO DINAMICO. $A_w=0.85$



El cuadro XIV muestra la comparación de los resultados de las cinéticas de deshidratación entre el método estático y el método dinámico.

CUADRO XIV

COMPARACION DE LAS CINETICAS DE DESHIDRATACION

METODO DINAMICO						
FORMULACION	K^1	A_w	% A_p^2	% B_q^3	% S_t^4	% P_p^5
S2	1.02	0.920	65.6	2.60	54.9	63
O2	0.95	0.931	64.5	1.37	51.7	63
METODO ESTATICO						
O1	0.42	0.966	43.7	1.10	31.9	42
B1	0.64	0.953	48.5	3.15	38.2	45
O2	0.49	0.961	46.5	1.46	35.0	45
B2	0.62	0.947	48.9	2.14	39.5	47
O3	0.37	0.968	41.2	1.61	31.7	39
B3	0.38	0.955	44.5	2.46	32.0	42

- 1.- Coeficiente de transporte de masa.
- 2.- Porcentaje de agua perdida.
- 3.- Porcentaje de Sólidos ganados.
- 4.- Porcentaje de Sólidos totales.
- 5.- Porcentaje de peso perdido

En el método estático se observa que las ciruelas tratadas con las formulaciones B presentan una constante de transferencia de masa mayor y por lo tanto una mayor absorción de solutos en comparación con las frutas tratadas con las formulaciones O.

Tanto para las formulaciones B como para las O se obtuvo una mayor

deshidratación utilizando las soluciones osmóticas con actividad de agua igual a 0.85 en comparación con las soluciones con Actividad de agua igual a 0.80 y 0.90.

Para el método dinámico, los valores obtenidos en las cinéticas muestran un valor mayor de la constante de transferencia de masa para la formulación S2, por lo que hay una mayor absorción de sólidos a la fruta y mayor pérdida de agua, dando como resultado una mayor deshidratación del producto S2 en comparación con el O2.

Al comparar la efectividad entre el método de deshidratación estático y dinámico se determinó que la velocidad de deshidratación fué mayor en el método dinámico en con respecto al método estático. La pérdida de agua obtenida por el método dinámico fué superior en un 24% en comparación con la pérdida de agua lograda utilizando el método estático, para el mismo tiempo de tratamiento.

Probablemente esto se debe al efecto combinado de la agitación del sistema con la relación fruta a solución osmótica (1:6). La agitación de la solución osmótica en el método dinámico evita que el agua extraída de la fruta forme zonas de dilución alrededor de la misma y frene el proceso de ósmosis, lo que ocurre en el método estático en el que la agitación es nula.

Así mismo la mayor cantidad de solución osmótica presente en el sistema disminuye el efecto de dilución debido al agua extraída de la fruta.

5.6 CIRUELAS TROCEADAS DE HUMEDAD INTERMEDIA

Las ciruelas troceadas de humedad intermedia se obtuvieron por el método de dinámico de deshidratación osmótica, utilizando las soluciones osmóticas B2 y G2.

Las condiciones de proceso para la obtención del producto final fueron las siguientes:

Tiempo de tratamiento: 4 horas.

Temperatura del tratamiento: 45°C

Tamaño de las rebanadas: cuartos de ciruela

Relación fruta a solución osmótica: 1:6

Agitación del sistema: recirculación de jarabe 800 ml/min

Al finalizar el tratamiento osmótico las ciruelas deshidratadas con la solución B2 presentaron una humedad de 45.1%, con una actividad de agua igual a 0.920.

Las ciruelas deshidratadas con la solución G2 presentaron una humedad del 48.3%, con un valor de actividad de agua igual a 0.931 (ver cuadro XIV: humedad= 100 - % Sólidos totales)

Si se compara la humedad inicial de la ciruela (83.81%) con la humedad al final del proceso osmótico (45.1 y 48.3 % para las formulaciones B2 y G2) se observa que en ambos casos hubo una reducción de humedad del producto aproximadamente en un 65%.

En cuanto a la concentración de conservadores, al finalizar el tratamiento osmótico ambas formulaciones de ciruela contenían 200 ppm de dióxido de azufre y 750 ppm de ácido sórbico. Estos valores se encuentran dentro de los límites de concentración máxima permitida, que son, para el ácido sórbico de 1000 ppm, y para el dióxido de azufre de 250 ppm (54).

Posteriormente la fruta se introdujo en un secador de chardas hasta obtener una humedad aproximada del 28 %. Después de 6 horas de secado la humedad final de los productos fué de 27.9% para la formulación S2 y de 29.6% para la formulación O2.

En el cuadro XV se muestra la composición de las Ciruelas de humedad intermedia tanto de la formulación S2 como de la formulación O2.

CUADRO XV
COMPOSICION DE LAS CIRUELAS TROCEADAS
DE HUMEDAD INTERMEDIA

PARAMETRO	FORMULACION	
	O2	S2
ACTIVIDAD DE AGUA (25°C)	0.837	0.776
pH	3.50	3.52
ACIDEZ (% AC. MALICO)	1.63	1.36
HUMEDAD	29.63	27.90
AZUCARES REDUCTORES:		
DIRECTOS (%)	34.08	45.20
TOTALES (%)	36.42	52.77
COLOR (% DE REFLECTANCIA)	31.52	38.54
DIOXIDO DE AZUFRE (ppm)	260.0	256.0
ACIDO SORBICO (ppm)	1101.0	1137.0
ANALISIS MICROBIOLOGICO:		
CUENTA TOTAL *	NEGATIVO	NEGATIVO
HONGOS Y LEVADURAS *	NEGATIVO	NEGATIVO

* COLONIAS POR GRAMO DE MUESTRA.

En el cuadro podemos observar que la actividad de agua de las ciruelas se redujo del valor inicial de 0.987 (en estado fresco, con una humedad de 83.81 %) a un valor final de 0.837 para la formulación O2 y de 0.776 para la formulación S2.

La menor reducción de la actividad de agua en la formulación 02 se debe a que la glucosa (presente en mayor cantidad en comparación con la sacarosa, para esta formulación) actúa como humectante, disminuyendo la velocidad de deshidratación de la fruta durante el secado con aire.

Al disminuir el contenido de humedad de la fruta durante el secado con aire, se incrementó la proporción de conservadores con respecto al peso de la fruta, esto es, la concentración de ácido sórbico aumentó 750 ppm iniciales a 1100 después del secado y la concentración de dióxido de azufre aumentó de 200 ppm a 260 ppm.

5.7.- ANALISIS DE ESTABILIDAD.

A continuación se presentan los resultados de las pruebas de estabilidad fisicoquímica y microbiológica de las ciruelas de humedad intermedia durante los 3 meses de almacenamiento, a temperaturas de 10°, 25° y 25°C .

5.7.1 ACTIVIDAD DE AGUA Y HUMEDAD.

Los valores de actividad de agua y humedad de los productos 82 y 02 durante el almacenamiento se muestran en el cuadro XVI. No se encontró diferencia significativa en los valores con respecto al tiempo ni a la temperatura de almacenamiento. Estos resultados indican que el producto fué estable en las condiciones de almacenamiento ya que el agua presente no sufrió modificaciones debido al efecto de la temperatura o del tiempo (fenómeno de histéresis).

También es importante señalar que la baja permeabilidad al agua de la película de envasado (celopolifoil) evitó la transferencia de humedad desde el medio externo hacia el producto.

CUADRO XVI
ACTIVIDAD DE AGUA Y HUMEDAD.

TIEMPO DE ALMAC. (días)	Aw			HUMEDAD (%)		
	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO					
	10°C	25°C	35°C	10°C	25°C	35°C
	FORMULACION G2					
0	0.837	0.837	0.837	29.73	29.73	29.73
15	0.838	0.830	0.836	29.42	29.69	29.51
30	0.842	0.840	0.840	29.78	28.9	28.99
45	0.838	0.835	0.838	29.56	28.61	28.48
60	0.841	0.835	0.835	29.92	28.73	28.49
90	0.838	0.837	0.836	29.62	28.66	28.67
	FORMULACION B2					
0	0.776	0.776	0.776	27.92	27.93	27.93
15	0.767	0.767	0.762	27.86	27.71	27.68
30	0.773	0.765	0.765	27.85	27.67	27.59
45	0.770	0.773	0.760	27.76	27.52	27.45
60	0.773	0.775	0.774	27.68	27.29	27.39
90	0.761	0.761	0.769	27.69	27.11	27.13

5.7.2 ACIDEZ Y pH.

En el cuadro XVII se observa que no hubo cambios significativos en el contenido de ácido de las formulaciones B2 y G2 durante el almacenamiento; de la misma manera los valores de pH no se afectaron por el tiempo ni por la temperatura de almacenamiento. Esta estabilidad se debe a que al disminuir la actividad de agua de la ciruela se disminuye la disponibilidad del agua para que se lleven a cabo distintas reacciones químicas, como por ejemplo reacciones hidrolíticas, reacciones de oxidación o crecimiento microbiano, que implicarían cambios en el pH y en la acidez del producto.

CUADRO XVII

ACIDEZ Y pH

TIEMPO DE ALMAC. (días)	ACIDEZ CM AC. MALICO			pH		
	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO					
	10°C	25°C	35°C	10°C	25°C	35°C
	FORMULACION O2					
0	1.64	1.64	1.64	3.50	3.50	3.50
15	1.73	1.73	1.69	3.33	3.35	3.33
30	1.71	1.64	1.88	3.36	3.40	3.39
45	1.73	1.72	1.73	3.32	3.35	3.34
60	1.82	1.77	1.80	3.35	3.36	3.35
90	1.71	1.74	1.74	3.22	3.24	3.25
	FORMULACION S2					
0	0.776	0.776	0.776	3.52	3.52	3.52
15	0.767	0.767	0.762	3.28	3.30	3.30
30	0.773	0.765	0.765	3.34	3.35	3.39
45	0.770	0.773	0.760	3.33	3.35	3.33
60	0.773	0.775	0.774	3.33	3.34	3.37
90	0.761	0.761	0.769	3.22	3.27	3.23

5.7.3 AZUCARES REDUCTORES DIRECTOS.

La variación en el contenido de azúcares reductores directos se muestra en las figuras 20 y 21. El aumento en el contenido de azúcar en ambos casos es independiente de la temperatura y dependiente del tiempo de almacenamiento, esto posiblemente se debe a la inversión parcial de la sacarosa debido al elevado contenido de ácido presente en la ciruela.

5.7.4 AZUCARES REDUCTORES TOTALES.

En el cuadro XVIII se observa que el contenido de azúcares reductores totales no se modificó durante el almacenamiento tanto en la formulación S2 como en la formulación G2.

CUADRO XVIII

AZUCARES REDUCTORES TOTALES

TIEMPO DE ALMACENAMIENTO (días)	AZUCARES REDUCTORES TOTALES (%)					
	FORMULACION G2			FORMULACION S2		
	TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO					
	10°C	25°C	35°C	10°C	25°C	35°C
0	36.42	36.42	36.42	52.72	52.72	52.72
15	36.08	34.80	36.38	50.87	51.43	50.13
30	35.85	35.89	36.40	50.85	52.15	51.65
45	35.83	35.18	36.57	50.79	52.04	51.41
60	36.13	35.57	36.41	50.61	52.24	51.55
90	36.22	35.62	36.64	51.70	51.64	50.94

5.7.5 OSCURECIMIENTO NO ENZIMATICO.

El aumento en la absorbancia de la muestra indica la formación de pigmentos por reacciones de oscurecimiento no enzimático.

El las figuras 22 y 23 se observa que los cambios en el oscurecimiento no enzimático se presentan principalmente en los productos almacenados a 35°C. Esto se debe a que los azúcares presentes en la ciruela, al estar sometidos a condiciones de calor moderado, posiblemente sufren reacciones de degradación por efecto del ácido presente, formando sustancias furánicas que producen pigmentos oscuros.

En los productos almacenados a 10°C y a 25°C no se observan cambios significativos.

FIGURA 20
VARIACION EN EL CONTENIDO DE AZUCARES
REDUCTORES DIRECTOS. FORMULA G

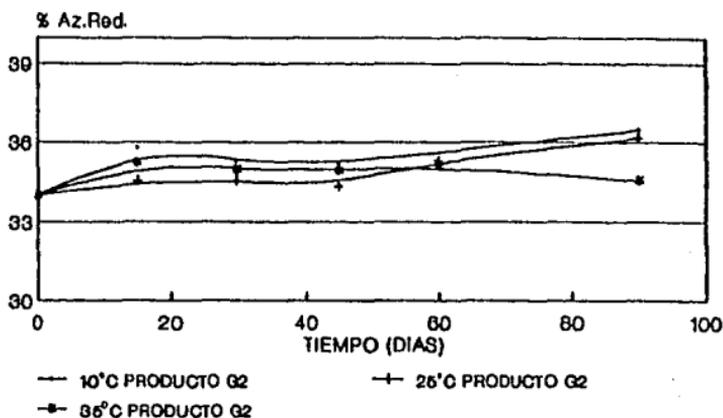
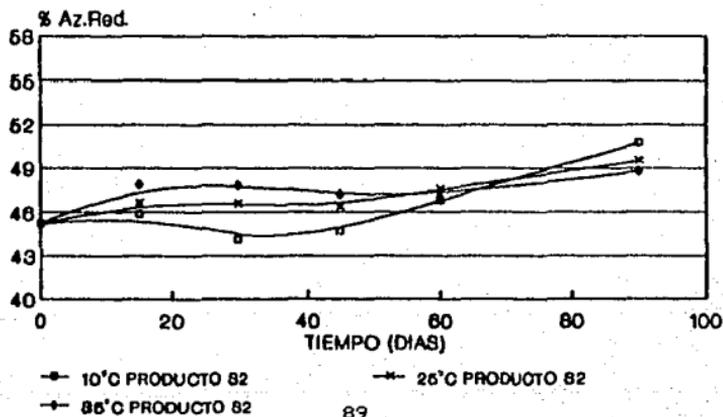


FIGURA 21
VARIACION EN EL CONTENIDO DE AZUCARES
REDUCTORES DIRECTOS. FORMULA 8



5.7.6 COLOR.

En las figuras 24 y 25 se observan las variaciones en cuanto al color de las muestras. Como se puede notar, no existió diferencia significativa en las muestras almacenadas a 10°C y 25°C. Sin embargo, si existieron variaciones significativas en el color en los productos almacenados a 35°C. Estos resultados tienen implicación directa con el contenido de dióxido de azufre presente en las muestras, debido a que su velocidad de descomposición aumenta con el aumento de la temperatura. De esta manera, al haber una menor concentración de SO₂ disminuye el efecto protector sobre el color debido a sus propiedades como antioxidante.

5.7.7 DIOXIDO DE AZUFRE.

Como se observa en las figuras 26 y 27, la disminución en la concentración de dióxido de azufre es función de la temperatura de almacenamiento. A mayor temperatura de almacenamiento, hay mayor desprendimiento de SO₂ por descomposición térmica.

5.7.8 ACIDO SORBICO.

En las figuras 28 y 29 se muestra que la disminución del contenido de ácido sórbico es función tanto del tiempo como de la temperatura de almacenamiento. A mayor temperatura de almacenamiento es mayor la descomposición del ácido sórbico. En la formulación 02 almacenada a 35°C se descompone el 18% del ácido sórbico presente, mientras que a 10°C se descompone el 9%. Para la formulación 82 a 35°C se descompone el 22% del ácido sórbico y a 10°C se descompone el 14%.

FIGURA 22
OSCURECIMIENTO NO ENZIMATICO
FORMULA G

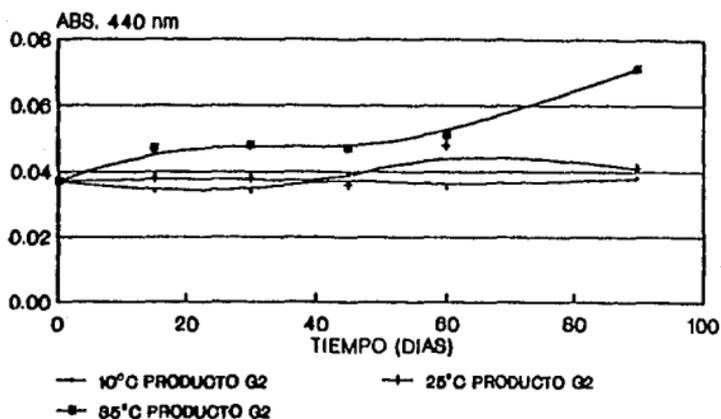


FIGURA 23
OSCURECIMIENTO NO ENZIMATICO
FORMULA 8

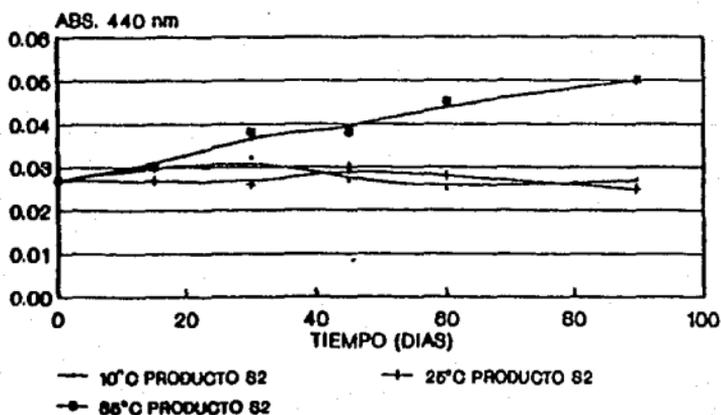


FIGURA 24
COLOR
FORMULA G

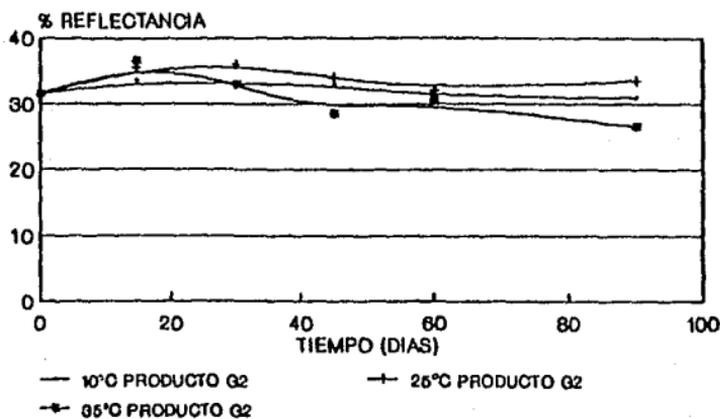


FIGURA 25
COLOR
FORMULA 8

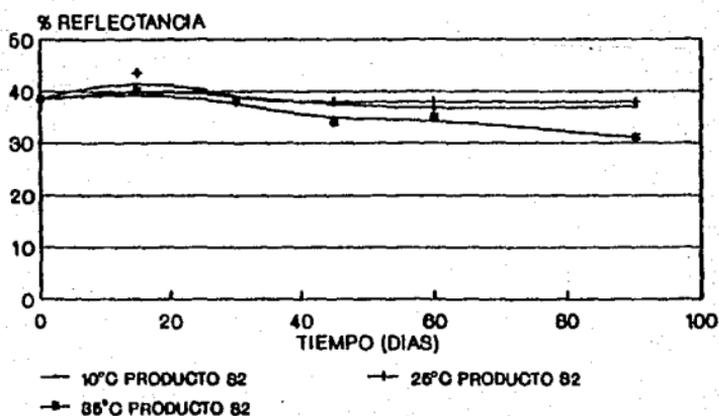


FIGURA 26
DIOXIDO DE AZUFRE
FORMULA G

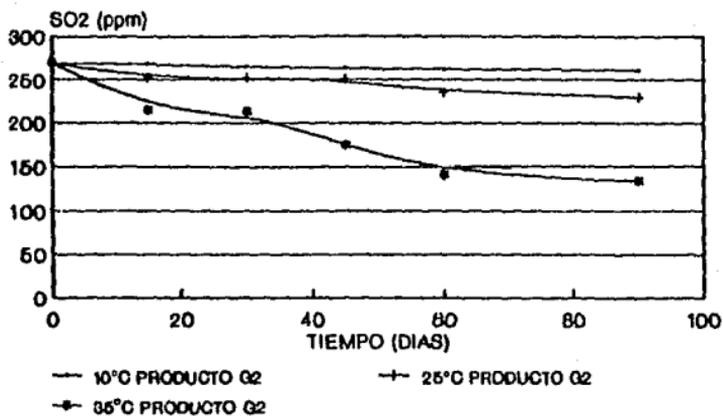


FIGURA 27
DIOXIDO DE AZUFRE
FORMULA 8

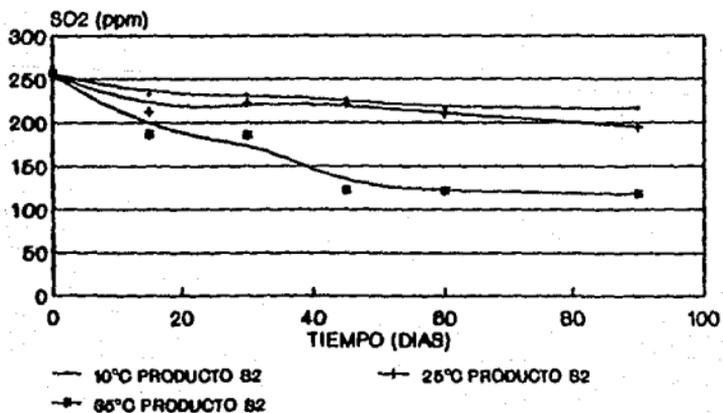


FIGURA 28
ACIDO SORBICO
FORMULA G

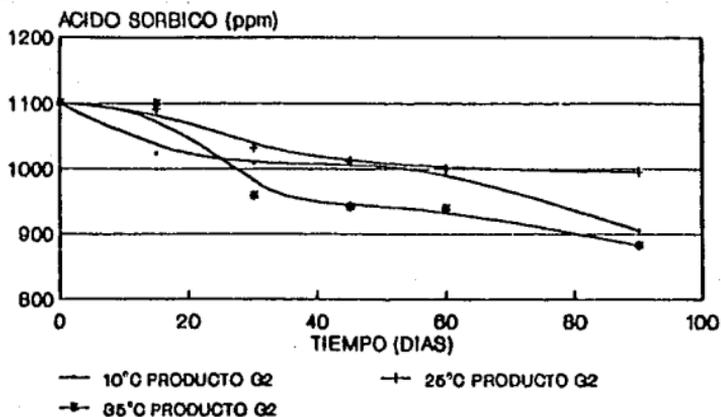
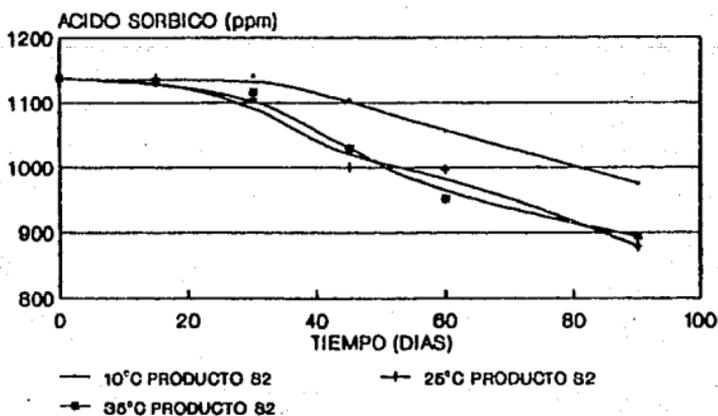


FIGURA 29
ACIDO SORBICO
FORMULA 8



5.7.9 ANALISIS MICROBIOLÓGICOS.

Durante el período de almacenamiento, las pruebas de cuenta total de microorganismos, así como la cuenta de hongos y levaduras no presentaron crecimiento, lo cual se debe a la reducción de la actividad acuosa y al uso de conservadores que inhibieron el desarrollo de microorganismos.

5.7.10 EVALUACION SENSORIAL.

El cuadro XIX muestra los resultados de la evaluación sensorial de las formulaciones B2 y G2, al inicio y al final del almacenamiento. Las calificaciones obtenidas para cada formulación en sabor y color al inicio del almacenamiento muestran que hubo mayor aceptación por la formulación B2 que por la formulación G2. Esto se debe principalmente al sabor impartido por la sacarosa, que se encuentra en mayor concentración en la formulación B2 en comparación con la formulación G2 que tiene un mayor contenido de jarabe de glucosa. Estos resultados concuerdan con los estudios realizados por Bolin H.R.(55), en los que se indica que en paneles de evaluación sensorial los jueces prefieren el sabor de los productos elaborados con sacarosa en comparación con los productos elaborados con jarabes de glucosa.

Las calificaciones de los productos después de tres meses de almacenamiento (cuadro XX) muestran que el tiempo y la temperatura de almacenamiento no afectaron en forma significativa la aceptación del producto, por lo que se puede establecer que el producto mantuvo constantes sus características durante el almacenamiento..

CUADRO XIX

EVALUACION BENBOKIAL

CARACTERISTICA	EVALUACION INICIAL	EVALUACION A TRES MESES		
		TEMPERATURA DE ALMACENAMIENTO		
		10°C	25°C	35°C
		F O R M U L A C I O N 02		
COLOR	6.85	6.36	7.49	7.14
SABOR	6.31	6.69	6.66	6.68
		F O R M U L A C I O N 82		
COLOR	7.83	8.34	8.24	7.60
SABOR	8.49	8.06	7.65	8.08

CUADRO XX

EVALUACION SENSORIAL
ANALISIS DE VARIANZA

COLOR.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALC.	P
FORMULA	1	96.203	96.203	18.937	0.0000
TEMP.	2	22.131	11.065	2.178	0.115
FORM TIEMP.	2	43.111	21.55	4.243	0.015
ERROR	354	1798.345	5.00		

SABOR.

FUENTE DE VARIACION	GRADOS DE LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADOS MEDIOS	F CALC.	P
FORMULA	1	164.430	164.430	28.908	0.0000
TEMP.	2	6.077	3.039	0.534	0.587
FORM TIEMP.	2	2.409	1.205	0.212	0.809
ERROR	354	2013.566	5.688		

6.0 CONCLUSIONES

6.0.- CONCLUSIONES

1.- Las características de proceso establecidas para el método estático fueron:

Tiempo de tratamiento :	4 horas
Relación fruta / solución osmótica:	1:2
Tamaño de la fruta:	cuartos
Temperatura del sistema:	45°C

2.- Las características de proceso establecidas para el método dinámico fueron:

Tiempo de tratamiento:	4 horas
Relación fruta / solución osmótica:	1:6
Tamaño de la fruta:	cuartos
Temperatura del sistema:	45°C
Velocidad de flujo de la solución:	800 ml/min

3.- Las cinéticas efectuadas muestran una mayor deshidratación utilizando el método dinámico en el que se obtiene una pérdida de peso del 63% comparado con el método estático en el que la mayor pérdida de peso es del 45%.

4.- Los productos obtenidos por el método dinámico presentan una actividad acuosa (0.92) inferior a las obtenidas por el método estático (superior a 0.95), debido fundamentalmente al efecto de la agitación.

5.- Se obtuvieron dos productos de humedad intermedia (con actividad acuosa de 0.837 para la formulación G2 y 0.77 para la formulación B2), que mantuvieron estables sus características fisicoquímicas durante el almacenamiento.

6.- Los productos finales no presentaron crecimiento microbiano durante el almacenamiento, lo que se debe al efecto combinado de la reducción de la actividad de agua (y por lo tanto la disminución en la disponibilidad del agua para el crecimiento y desarrollo de microorganismos), la presencia de ácido sórbico y dióxido de azufre y la ausencia de aire en el interior del envase.

7.- El producto formulado con la solución osmótica S2 tuvo mejor aceptación en la evaluación sensorial en comparación con el formulado con la solución O2. Posiblemente es debido a la mayor concentración de sacarosa de la solución osmótica S2 con respecto a la solución osmótica O2.

8.- El tiempo y la temperatura de almacenamiento (3 meses a temperaturas de 10°C, 25°C y 35°C) para las formulaciones S2 y O2 no afectaron en forma significativa la aceptación de las mismas.

7.0 BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Acker, L.W. (1969). Water activity and enzyme activity. Food Technol., 23(10): 1257-1270.
- 2.- Adambounou, T.L., Castaigne, F. (1983). Déshydratation partielle par osmose des bananes et détermination de courbes de sorption isotherme. Lebensm.- Wiss.- Technol. 16:230-234.
- 3.- Beuchat, L.R. (1983). Influence of water activity on growth, metabolic activities and survival of yeasts and molds. J. Food Prot., 46 (2): 135-141.
- 4.- Bone, D.P. (1987). Practical applications of water activity and moisture relations in foods. En Water activity: Theory and applications to food. Editor Marcel Dekker, Inc. N. Y. Cap 15. pags. 369-395.
- 5.- Bongirwar, D.R., Sreenivasan, A. (1977). Studies on osmotic dehydration of banana. J. Food Sci. & Technol. India., 14(3): 112-114.
- 6.- Buera, M.P., Chirife, J., Resnik, B., (1987). Nonenzymatic browning in liquid model systems of high water activity kinetics of color changes due to caramelization of various single sugars. J. Food Sci., 52 (4):1059-1062.
- 7.- Camirand, R.R., Forrey, K. (1968). Dehydration of membrane coated foods by osmosis. J. Sci. Fd Agric., 19(8):472-474.
- 8.- Chirife, J., Ferro Fontán C. (1982). Water activity of fresh foods. J. Food Sci. 47 (2): 661-663.
- 9.- Comisión Nacional de Fruticultura. (1987). Inventario Frutícola. Delegaciones Estatales de la CONAFRUT. pag. 41
- 10.- Contreras, J.E., Smyrl, T.G. (1981). An evaluation of osmotic concentration of apple rings using corn syrup solids solutions. Can. Inst. Food Sci. Technol. J. 14(4):310-314.
- 11.- Dalla Rosa, M., Pinnavaia, G., Lerici, C. (1982). La desidratazione della frutta mediante osmosi diretta. Industria Conserve. 57: 3-7.
- 12.- Delmer, F. (1976). Les produits à humidité intermédiaire dans l'industrie alimentaire. Industries Alimentaires et Agricoles. pags. 1141-1148.

- 13.- Del Valle Canseco, F.R. (1985). La Actividad Acuosa y su Relación con la Estabilidad de los Alimentos. *Tecnología de Alimentos*, 20(3):23-30.
- 14.- DeVries, J.W., Ge, Hoon., Ebert, F.J. (1986). Analysis for total sulfite in foods by using rapid distillation followed by redox titration. *J. Assoc. Off Anal. Chem.*, 69(5):827-830.
- 15.- Duckworth, R.B. (1968). *Frutas y Verduras*. Editorial Acribia Zaragoza, España.
- 16.- Erickson, L.E. (1982). Recent developments in intermediate moisture foods. *J. Food Prot.*, 45(5): 484-491.
- 17.- Farkas, D.F., Lazar, M.E. (1969). Osmotic dehydration of apple pieces: Effect of temperature and syrup concentration on rates. *Food Technol.* 23: 688-690.
- 18.- Fennema, O.R. (1985). *Food Chemistry*. Segunda Edición. Editor Marcel Dekker Inc, N.Y. pag. 24-67.
- 19.- Franks, F. (1982). Water activity as measure of biological viability and quality control. *Cereal Foods World*. 27(9):403-407.
- 20.- Giangiacomo, R., Torregiani, D. (1987). Osmotic dehydration of fruit. Part 1: Sugars exchange between fruit and extracting syrups. *J. Food Processing & Preservation.* 11:183-195
- 21.- Guilbert, B. (1987). La déshydratation osmotique des fruits et legumes. Centre d'Etudes et d'Experimentation du *Machinisme Agricole Tropical*.
- 22.- Hernández M., Chavez A., Bourges H., (1987). Valor Nutritivo de los Alimentos Mexicanos. *Tablas de Uso Practico*. Publicación de la división de Nutrición - L - 12, 10a edición. Instituto Nacional de la Nutrición. México. pag. 12.
- 23.- Hawks, J., Flink, J. (1978). Osmotic concentration of fruit slices prior to freeze dehydration. *J. Food Processing & Preservation.* 2:265-284.
- 24.- Hulme, A. C. editor. (1971). *The Biochemistry of Fruits and their Products*. Food Science: a Series of Monographs. Volumen 2. Academic Press, G.B..

- 25.- Islam, M.N., Flink, J.N. (1982). Dehydration of potato.
II.- Osmotic concentration and its effect on air-drying behaviour. *J. Food Technol.*, 17: 387-403.
- 26.- Kaplow, M. (1970). Commercial development of intermediate moisture foods. *Food Technol.* 24:889-893.
- 27.- Karel, M. (1975). Principles of food science. Part II: Physical principles of food preservation. Capitulo B: Water activity and food preservation. (Editor. O.R. Fennema). Marcel Dekker INC., N.Y. paginas 237-263.
- 28.- Karel, M. (1975). Stability of low and intermediate moisture foods. *Food Science and Technology. Freeze Drying and advanced Food Technology.* Editors S.A. Goldblith. Academic Press. G.B. pag. 643-673.
- 29.- Karel, M., Heidelbaugh, N. (1975). Intermediate Moisture Food Technology. *Food Sci and Technol. A series of monographs. Freeze drying and advanced food technology.* Editors S.A. Goldblith. Academic Press G.B. pages. 619-642.
- 30.- Labuza, T.P., (1970). Properties of water as related to the keeping quality of foods. *Proc. 3rd. International Congress Food Science and Technology.* 618-635.
- 31.- Le Maquer, M. (1988). Osmotic dehydration: review and future directions. *Progress in Food Preservation Processes.* Vol 1. CERIA, Abril 12-14, Brusélas, Bélgica.
- 32.- Lerici, C.R., Pinnavaia, G. (1985). Osmotic dehydration of fruits: Influence of osmotic agents on drying behavior and product quality. *J. Food Sci.*, 50(5):1217-1219.
- 33.- Manual de laboratorio de microbiología sanitaria. (1983). Departamento de Microbiología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. IPN. México, D.F.
- 34.- Manual de Técnicas de Laboratorio para el Análisis de Alimentos. (1984). Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. INNSZ. Publicación L- 62. México.
- 35.- Multon, J.L., Trentesaux, E. (1971). Méthode rapide de détermination des isothermes de sorption de l'eau par les solides. *Lebensm- Wiss- Technol.* 4(6):104.

- 36.- Norrish, R.B. (1966). A equation for the activity coefficients and equilibrium relative humidities of water in confectionary syrups. *J. Food Technol.* 1:25-39.
- 37.- Nury, F.B., Bolin, H.R. (1962). Colorimetric Assay for potassium sorbate in dried fruits. *J. Food Sci.* 27(4):370-372.
- 38.- Pointing, J.D., Watters, G.G. (1966). Osmotic dehydration of fruits. *Food Technol.*, 20:125-128
- 39.- Ramanuja, M.N., Jayaraman. K.B. (1980). Studies on the preparation and storage stability of IM banana. *J. Food Sci. and Technol India.* 17(4):183-186.
- 40.- Ranjana, B. (1986). Handbook of analysis and quality control for fruit and vegetable products. Segunda Edición. Editorial Tata Mc Graw-Hill Publishing Co, New Delhi India.
- 41.- Rockland, L.,B, (1969). Water activity and storage stability. *Food Technology.* 23(10): 1241-1251.
- 42.- Rockland, L.B., Nishi, S.K. (1980). Influence of water activity on food product quality and stability. *Food Technol.*, 34(4):42-50.
- 43.- Rockland, L., Stewaar, G. Editores. (1981). Water activity: influences on food quality. Academic Press. pag. 11.
- 44.- Ross, K.D. (1975). Estimation of water activity in intermediate moisture foods. *Food Technol.*, 29:26-30.
- 45.- Scott, Y.N., Bernard, D. (1983). Influence of temperature on the measurement of water activity of food and salt systems. *J. Food Sci.* 48:552-554.
- 46.- Scott, W.J. (1957). Water Relations of Food Spoilage microorganisms. *Advendes of Food Research.* 7:84.
- 47.- Singh, R.,Lunh, D.B., Buelow, F. (1983). Storage stability of intermediate moisture apples kinetics of quality change. *J. Food Sci.*, 48:939-944.
- 48.- Snowdon, A.L. (1990). A Colour Atlas of Post-harvest Diseases and Disorders of Fruits and Vegetables. Volumen 1: A General Introduction & Fruits. Editor Wolfe Scientific LTD. Barcelona, España.

- 49.- Torrey, M.(1974). Dehydration of fruits and vegetables. Food technology Review No.13. Editor Noyes Data Corp. Park Ridge, New Jersey. pag. 48-50.
- 50.- Troller, J. (1979). Food spoilage by microorganisms tolerating low Aw environments. Food Technol. 39:72.
- 51.- Troller, J.A. (1980). Influence of water activity on microorganisms in foods. Food Technol., 34(5):76-82.
- 52.- Troller, J.A. (1983). Methods to measure water activity. J. Food Protection., 46(2): 129-134.
- 53.- Troller, J.A. Christian, J.H.(1978). Water Activity in Food. Academic Press. Inc. U.S.
- 54.- Balboa, A.L., Cruz, R.R. (1977). Preparación y aplicación de material audiovisual y elaboración de apuntes como auxiliares en la enseñanza teórica del curso "Desarrollo de Alimentos". Tesis UNAM. Facultad de Ciencias Químicas. pag. 148-149.
- 55.- Bolin H. R., Huxsoll, C. C. (1983). Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality .J. Food Sci 48: 202-205.