

13 300 627

24



UNIVERSIDAD LA SALLE

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

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CONSERVACION DE PULPAS DE
PLATANO POR METODOS
COMBINADOS

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
P R E S E N T A :
DEANNA VIRGINIA GONZALEZ
HERMOSILLO RATHBUN

MEXICO, D. F.

1989



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

Este trabajo fue elaborado bajo la dirección del Ing. Ramón Arana E. en el Departamento de Graduados e Investigación en Alimentos de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas y forma parte del proyecto: Caracterización y Desarrollo de Alimentos Mexicanos de Humedad Intermedia, con Clave PVT/AI/NAL/86/3630-1 financiado por CONACYT.

INDICE

INTRODUCCION	1
OBJETIVO	2
I. ANTECEDENTES	3
Caracterización y Composición del Plátano	3
Comercialización e Industrialización	6
Actividad Acuosa (Aw)	8
Definiciones y.....	8
Isotermas de Sorción de Humedad	10
Efecto del Agua sobre la Calidad de los Alimentos	16
Efecto de la Actividad Acuosa sobre las Reacciones Enzimáticas y Oscurecimiento No Enzimático	18
Efecto de la Actividad Acuosa sobre la Oxidación de los Alimentos	21
Efecto de la Actividad Acuosa sobre los Nutrientes de los Alimentos	24
Efecto de la Actividad Acuosa sobre el Crecimiento Microbiano	25
Método Combinado de Conservación de Alimentos	28
Elaboración de Pulpas	33
II. MATERIALES Y METODOS	35
Materiales	35
Equipo	35
Materias Primas	35
Reactivos	35
Medios de Cultivo	35
Desarrollo Experimental	36
Métodos	37
Elaboración del Puré de Plátano	37
Métodos de Análisis	39
III. RESULTADOS	43
IV. CONCLUSIONES	60
V. BIBLIOGRAFIA	61

INDICE DE CUADROS

Cuadro I.	CLASIFICACION DEL PLATANO	3
Cuadro II.	COMPOSICION DEL PLATANO	5
Cuadro III.	VARIACIONES EXTERNAS EN EL CONTENIDO DE ALMIDON Y AZUCARES DEL PLATANO SEGUN EL GRADO DE MADURACION	5
Cuadro IV.	CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES COMPUESTOS VOLATILES DE ACUERDO A LOS TIPOS DE IMPRESIONES SENSORIALES	6
Cuadro V.	EXPORTACION NACIONAL DE FRUTA FRESCA E INDUSTRIALIZADA	7
Cuadro VI.	VALORES CRITICOS DE a_w PARA INGREDIENTES EN UN MODELO DE PRODUCTO ALIMENTICIO	8
Cuadro VII.	EFFECTO DE LA a_w SOBRE EL CRECIMIENTO DE BACTERIAS, HONGOS Y LEVADURAS TIPICAS DE FRUTAS Y SUBPRODUCTOS	27
Cuadro VIII.	VALORES APROXIMADOS DE pH DE ALGUNAS FRUTAS	29
Cuadro IX.	VALORES APROXIMADOS DE pH MAXIMO Y MINIMO PARA EL CRECIMIENTO DE HONGOS Y LEVADURAS	31
Cuadro X.	EVALUACION SENSORIAL	38
Cuadro XI.	CARACTERIZACION DEL PLATANO FRESCO	43
Cuadro XII.	a_w EXPERIMENTAL Y CALCULADA PARA LOS PRODUCTOS ELABORADOS	43
Cuadro XIII.	HUMEDAD Y SOLIDOS TOTALES	44
Cuadro XIV.	GRADOS BRIX, ACIDEZ Y pH	45
Cuadro XV.	PARDEAMIENTO NO ENZIMATICO	45
Cuadro XVI.	Z DE AZUCARES REDUCTORES DIRECTOS Y TOTALES	46
Cuadro XVII.	DIOXIDO DE AZUFRE Y COLOR	47
Cuadro XVIII.	SORBATO DE POTASIO	48
Cuadro XIX.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO	48
Cuadro XX.	EVALUACION SENSORIAL	48
Cuadro XXI.	AMPLITUD REQUERIDA PARA UNA SIGNIFICANCIA A NIVELES DEL 5 % ($P = 0.05$)	58

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	RELACION DE TEMPERATURA, CRECIMIENTO Y OTROS PROCESOS EN EL CULTIVO DE PLATANO	4
Figura 2.	CURVA TIPICA PARA LA HUMEDAD EN EQUILIBRIO CONTRA LA A_w PARA ALIMENTOS	11
Figura 3.	ISOTERMA DE SORCION DE HUMEDAD TIPICA	12
Figura 4.	ISOTERMA DE ADSORCION Y DESORCION EN DONDE SE MUESTRA EL FENOMENO DE HISTERESIS	13
Figura 5.	GRAFICA DE LA ECUACION DE BET	15
Figura 6.	CUADRO DE ESTABILIDAD DE LOS ALIMENTOS	17
Figura 7.	RELACION ENTRE LA CURVA DE HISTERESIS Y LA ACTIVIDAD ENZIMATICA EN UN SISTEMA TIPICO DE REACCION	19
Figura 8.	EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE LA VELOCIDAD DE OSCURECIMIENTO EN UNA SOFA DE CHICHARO A $54^{\circ}C$	21
Figura 9.	CURVA TIPICA DE VELOCIDAD DE LA REACCION DE PEROXIDACION PARA DISTINTOS VALORES DE A_w	23
Figura 10.	EFECTO DE LA REDUCCION DE LA A_w EN EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS	26
Figura 11.	EFECTO DE LA A_w Y DEL pH EN EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS .	30
Figura 12.	CURVA DE FLUJO PARA EL PURE CON SACAROSA	50
Figura 13.	CURVA DE FLUJO PARA EL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ	51
Figura 14.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON SACAROSA ALMACENADO A $25^{\circ}C$	52
Figura 15.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON SACAROSA ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE	53
Figura 16.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON SACAROSA ALMACENADO A $5^{\circ}C$	54
Figura 17.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ ALMACENADO A $25^{\circ}C$	55
Figura 18.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE	56
Figura 19.	COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ ALMACENADO A $5^{\circ}C$	57

INTRODUCCION

Las frutas, consideradas como productos perecederos, son sometidas a diversas técnicas de conservación con objeto de prolongar su vida útil. Dichos métodos de conservación pueden clasificarse en físicos y químicos. Los métodos físicos incluyen los tratamientos térmicos, la deshidratación y la congelación. Los métodos químicos consisten en la utilización de sustancias como azúcar, sal, vinagre y preservativos químicos.

A partir de la Segunda Guerra Mundial se desarrollaron nuevos procesos y tecnologías por medio de las cuales se logró obtener alimentos de buena calidad, de fácil manejo y almacenamiento y que poseían una vida de anaquel larga. Dentro de los productos desarrollados se encuentran los alimentos de humedad intermedia.

El principio en que se basa la elaboración de productos de humedad intermedia muestra que no es necesario deshidratar al alimento hasta contenidos de humedad de 5 a 10 % para asegurar la calidad microbiana. Además, los alimentos de humedad intermedia presentan la ventaja de contener la suficiente cantidad de agua para que se mantengan las propiedades plásticas del alimento, además de poseer una vida de anaquel prolongada sin que sea necesario procesarlos térmicamente o refrigerarlos (1). En general, la estabilidad de los alimentos de humedad intermedia se debe a la baja actividad acuosa que se alcanza por la incorporación de diversos agentes osmóticos como glicerol, azúcares o sal.

OBJETIVOS

Objetivo General

Obtener una pulpa de plátano por métodos combinados con una actividad acuosa (Aw) de 0.91 a 0.95, lo cual la proporcione estabilidad por un periodo de 2 a 6 meses a temperatura ambiente.

Objetivos Específicos

Combinar los siguientes factores de "stress": escaldado, pH, disminución de la Aw (por la adición de sacarosa, azúcar invertido y jarabe de maíz) y adición de conservadores para obtener un producto de buena calidad tanto microbiológica como sensorialmente.

Sugerir algunos usos del producto obtenido a nivel casero o industrial.

Justificación

México produce alrededor de 1.6 millones de toneladas de plátano anualmente, ocupando el séptimo lugar a nivel mundial como productor de dicho fruto.

En nuestro país, su consumo es prácticamente como fruta fresca, limitándose su industrialización a la elaboración de plátano pasa, harina de plátano y algunas frituras preparadas a nivel casero.

Con objeto de aprovechar el plátano que no cumple con los estándares de calidad para su consumo en fresco y para exportación, así como los excedentes en la producción, se pensó en la elaboración de una pulpa de humedad intermedia para obtener un producto estable a las condiciones ambientales. Se deseaba obtener un producto que pudiera ser almacenado largos periodos, y que además pudiera ser utilizado como base en la elaboración de otros alimentos: panadería, confitería, lácteos, etc.

I. ANTECEDENTES

1.1 CARACTERISTICAS Y COMPOSICION DEL PLATANO

Los plátanos pertenecen a la familia de las Musáceas, comprendida en el grupo de las monocotiledóneas (2) (Cuadro I).

CUADRO I
CLASIFICACION DEL PLATANO

ORDEN	FAMILIA	SUB-FAMILIA	GENEROS	ESPECIES	VARIETADES
Eicitamineas	Musáceas	MUSOIDEAE	MUSA	EUMUSA	GROS MICHEL CAVENDISH
			ENSETO	RHODOCLAMYS AUSTRALIMUSA CALLIMUSA	

La familia Musáceas está formada de dos géneros: Musa y Enseta. Todas las variedades comestibles de plátano se encuentran dentro del género Musa. El género Musa consta de 4 especies: Eumusa, Rhodochlamys, Australimusa y Callimusa. Las especies Rhodochlamys y Callimusa son de interés ornamental exclusivamente. La especie Australimusa se encuentra a lo largo del Pacífico y es consumida como vegetal cocido. Sin embargo, la especie Eumusa es la más variada tanto en su variedad de especies comestibles como en su distribución geográfica (3).

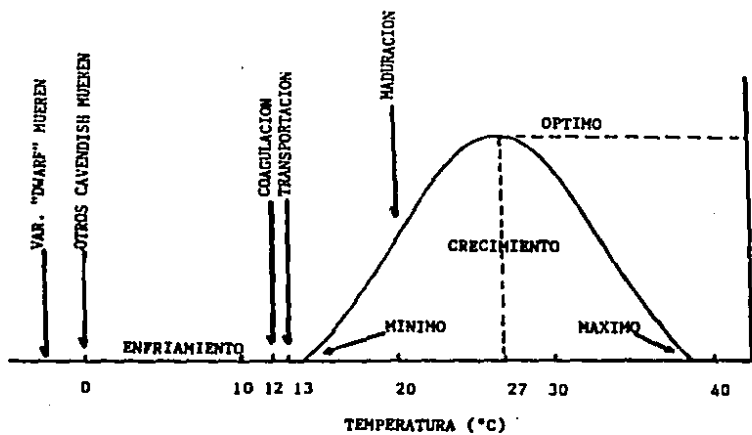
Dentro de la especie Eumusa, las variedades más frecuentemente encontradas están la Gros Michel y diversas mutantes de Cavendish o Sinensis (3).

Diversos estudios sugieren que el plátano fue consumido como alimento al Sureste de Asia desde los inicios de la existencia del hombre. El plátano, posteriormente fue introducido en Africa (año 500 A.D.), Polinesia (año 1000 A.D.) y, finalmente, en las Islas Canarias y América en los siglos XV y XVI.

El plátano pesa de 100 a 200 gramos, según la variedad y contiene del 60 al 65 % de pulpa comestible (2), su composición promedio puede verse en el Cuadro II.

El plátano es una fruta que presenta un ciclo climatérico de respiración durante su maduración. Presenta una velocidad de respiración de aproximadamente 20 mg CO /kg/hr durante los primeros 2-4 días después de haber sido cosechado (fruta verde y dura), valor que se incrementa hasta aproximadamente 125 en el pico del climatérico y después baja hasta aproximadamente 100 conforme avanza el proceso de maduración (3,4) (Figura 1).

FIGURA 1. RELACION DE TEMPERATURA, CRECIMIENTO Y OTROS PROCESOS EN EL CULTIVO DE PLATANO (4).



La composición del plátano varía considerablemente durante su maduración, pero puede verse que es un alimento altamente energético, cuyos carbohidratos son fácilmente asimilables, aunque es pobre en proteínas y lípidos. El cambio químico más significativo que ocurre durante la maduración del plátano es la hidrólisis del almidón en azúcares. Los carbohidratos encontrados en el plátano maduro son: sacarosa, fructosa, glucosa y maltosa. La maltosa se encuentra en muy pequeñas cantidades. La distribución de azúcares en el plátano así como el color externo de la cáscara de acuerdo a su grado de madurez se puede ver en el Cuadro III.

CUADRO II

COMPOSICION DEL PLATANO (2)

Agua	70.0 %
Carbohidratos	27.0 %
Fibras	0.5 %
Proteínas	1.2 %
Materias Grasa	0.3 %
Cenizas	0.9 %
Minerales:	
Calcio	80.0 ppm
Fósforo	290.0 ppm
Hierro	6.0 ppm
Vitaminas:	
B-Caroteno	2.4 ppm
Tiamina (B ₁)	0.5 ppm
Riboflavina (B ₂)	0.5 ppm
Niacina	7.0 ppm
Ácido Ascórbico	120.0 ppm
Energía en calorías	104 %

CUADRO III.

VARIACIONES EXTERNAS, EN EL CONTENIDO DE ALMIDON Y AZUCARES DEL PLATANO, SEGUN EL GRADO DE MADURACION Y COLORACION DE LA CASCARA.

GRADO DE MADURACION	COLORACION EXTERNA DE LA CASCARA	ALMIDON (%)	AZUCARES (%)
1	verde alimonado	21.5 - 19.5	0.1 - 2.0
2	verde con manchas amarillas	19.5 - 16.5	2.0 - 5.0
3	más verde que amarillo	18.0 - 15.0	3.5 - 7.0
4	más amarillo que verde	15.0 - 9.0	6.0 - 12.0
5	amarillo con puntas verdes	10.5 - 2.5	10.0 - 18.0
6	totalmente amarillo	4.0 - 1.0	16.5 - 19.5
7	amarillo con manchas pardas	2.5 - 1.0	17.5 - 19.5

El ácido orgánico no-volátil encontrado en el plátano en mayor cantidad es el ácido L-málico, el cual puede encontrarse en proporción de 0.053 a 0.373 % dependiendo del grado de madurez del fruto; en un plátano maduro el valor aproximado es de 0.341 %. El pH en el plátano maduro varía de 4.20 a 4.75, mientras que en el plátano verde es de 5.02 a 5.45. Las principales enzimas encontradas en el plátano durante su maduración son: amilasa, sacarasa, lipasa, proteasa, rafinasa y peroxidasa (5).

Tanto el sabor como el aroma del plátano se atribuyen a la presencia de por lo menos 200 compuestos volátiles que se encuentran en esta fruta. La mayoría de estos compuestos volátiles se clasifican de acuerdo a 3 tipos de impresiones sensoriales (3) (Cuadro IV).

CUADRO IV

CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES COMPUESTOS VOLATILES DE ACUERDO A LOS TIPOS DE IMPRESIONES SENSORIALES (3)

TIPO PLATANO	TIPO FRUTAL	VERDE, TIPO MADERA
acetato de isoamilo acetato de amilo propionato de amilo butirato de amilo	acetato de butilo butirato de butilo acetato de hexilo butirato de amilo	acetato de metilo pentanona alcohol butílico alcohol amílico alcohol hexílico

La astringencia en el plátano se debe a la presencia de taninos tanto en la pulpa como en la cáscara, y su cantidad va a estar en función del grado de madurez del fruto (5). La cáscara contiene de 3 a 5 veces mayor cantidad de taninos que la pulpa (3).

Se ha encontrado otro compuesto fenólico, la dopamina (3,4-dihidroxifeniletilamina), en el plátano, que es responsable de las reacciones de oscurecimiento enzimático pues es el sustrato primario de la polifenoloxidasa, enzima que cataliza la oxidación de diversos compuestos difenólicos. La dopamina se encuentra en altas concentraciones en la cáscara (700 mg/100 g fruta) y en menor cantidad en la pulpa (8 mg/100 g fruta) del plátano (5).

1.1.1 COMERCIALIZACION E INDUSTRIALIZACION

El plátano es una de las primeras producciones frutícolas mundiales, por el contrario, el mercado de productos transformados a base de plátano es mínimo. Sin embargo, la lista de posibles productos de plátano es larga.

Los productos fabricados y comercializados son los siguientes: plátano pasa, harina, hojuelas, polvo, puré enlatado o congelado, fruta en almbar, fruta cristalizada, néctar, jugo y alimento para ganado. Con la harina de plátano puede fabricarse almidón, azúcar y ciertas bebidas. Se han registrado en los mercados de consumo cantidades muy pequeñas de jaleas y algunas bebidas provenientes de la fermentación de la fruta (jugo de plátano y aguardiente). Se ha determinado que de 60 plátanos pueden obtenerse 2 litros de aguardiente y de 20 litros de mosto se obtienen 3 litros de alcohol de 71.5° (6).

Dentro de los productos de plátano, los de mayor demanda son el puré, la harina y el plátano pasa. México exporta plátano en forma fresca e industrializada, lo cual puede observarse en el Cuadro V, que es una extrapolación de datos obtenidos por CONAFRUT en 1983 y calculados para el periodo de 1984 a 1988.

CUADRO V.

EXPORTACION NACIONAL DE FRUTA FRESCA E INDUSTRIALIZADA

PLATANO	VOLUMEN (Ton)				
	1984	1985	1986	1987	1988
Fresco	28 149	30 482	32 816	35 149	37 482
Industrializado	2 632	2 881	3 100	3 379	3 650

1.2 ACTIVIDAD ACUOSA (Aw)

1.2.1 DEFINICIONES

El agua, como componente principal de los alimentos y materiales biológicos, juega un papel predominante en la determinación de su forma, estructura y propiedades físicas y químicas, así como su sabor y digestibilidad. Es también el componente que controla en mayor medida la transferencia de masa, reacciones químicas y la actividad de microorganismos. La mayoría de las operaciones efectuadas en el procesamiento de alimentos tienen por objeto, de una u otra forma, o bien la remoción del agua para estabilizar al producto, como ocurre en el secado o concentración, su transformación en un componente inactivo con la congelación o su inmovilización en geles, alimentos estructurados y alimentos de humedad baja e intermedia.

La manera principal en que se mida la inmovilización del agua es a través de la actividad acuosa y su relación con el contenido de humedad. Este parámetro es de suma importancia, pues va a tener gran influencia sobre las propiedades de los alimentos durante su elaboración y conservación (7), como puede observarse en el Cuadro VI:

CUADRO VI

VALORES CRITICOS DE Aw PARA INGREDIENTES
EN UN MODELO DE PRODUCTO ALIMENTICIO (8)

	<u>Humedad</u>	<u>Fragilidad</u>	<u>Masticabilidad</u>	<u>Endurecimiento</u>
Cereal	-	<0.40	-	>0.50
Fruta	>0.30	-	<0.50	<0.30
Nueces	-	<0.65	-	-

La Aw va a determinar el grado de interacción del agua con los demás constituyentes de los alimentos, y es una medida indirecta del agua disponible para llevar a cabo las diferentes reacciones a las que están sujetos. Por lo tanto, la actividad acuosa se define como la razón de la presión parcial del agua ejercida por el alimento, a la presión de vapor del agua pura a la misma temperatura que el alimento (8). Es decir,

$$Aw = \frac{P(\text{alimento}, T)}{P(\text{agua pura}, T)} = \frac{\sum \text{Humedad Relativa}}{100}$$

donde Aw = Actividad acuosa

P(alimento, T) = presión parcial del agua ejercida por el alimento a temperatura T.

P(agua pura, T) = presión de vapor ejercida por el agua pura a la misma temperatura T.

Ciertas propiedades del alimento y la forma en que interacciona el agua con los componentes del alimento, son el resultado del estado en el que se encuentra el agua dentro de los alimentos. Mientras más "ligada" se encuentra el agua, menor actividad acuosa presentará. Los tres efectos físicos principales que reducen la Aw son los siguientes (9):

1) Efecto coligativo:

Se presenta cuando un soluto se disuelve en agua e interacciona con ésta en forma tridimensional a través de enlaces dipolo-dipolo, iónico y de hidrógeno. En base a estas interacciones las propiedades del agua se ven afectadas de acuerdo a la cantidad de moléculas adicionales en relación a la cantidad de moléculas de agua presentes.

Algunas propiedades que son modificadas son el punto de ebullición, punto de congelación y presión de vapor (9).

2) Efecto capilar:

Se ha establecido que el agua contenida dentro de un poro capilar ejerce, por la curvatura convexa de la superficie, una presión de vapor menor que la del agua en superficie plana, y la disminución de la presión aumenta al disminuir el radio de la curvatura del poro capilar. Debido a que los alimentos poseen cientos de capilares, esto debe dar como resultado cierta disminución de la Aw (9).

Se ha sugerido que capilares con un radio de 10^{-6} cm probablemente son comunes, lo que conduciría a un efecto capilar con valores de Aw superiores a 0.90 (10).

3) Interacción superficial:

El agua interacciona con otros grupos químicos de moléculas a través de enlaces dipolo-dipolo, iónicos (H_3O^+ u OH^-), fuerzas de Van der Waals (enlaces hidrofóbicos) y puentes de hidrógeno. Estas moléculas de agua, así enlazadas, requieren de una energía mayor para poder pasar del estado líquido al gaseoso y, por tanto, no son liberadas tan fácilmente al vapor, dando como resultado una Aw reducida. Este efecto es de suma importancia en la determinación de los valores de monocapa de las isoterms de BET (9).

La importancia de conocer la Aw a la cual existe la monocapa es debida a que a esos valores se obtiene el contenido de humedad más estable para la mayoría de los alimentos. La velocidad de oxidación de lípidos aumenta conforme se tienen contenidos de humedad por debajo de la monocapa, mientras que la velocidad de oscurecimiento no enzimático se incrementa a valores superiores (10).

1.2.2. ISOTERMAS DE SORCIÓN DE HUMEDAD

A la relación funcional que existe entre el contenido de humedad de un alimento (expresado como g de agua por g de sólidos secos) y la actividad acuosa del mismo alimento a una temperatura dada se le conoce como isoterma de sorción de humedad. La isoterma puede representarse en forma gráfica, o bien en forma de ecuación.

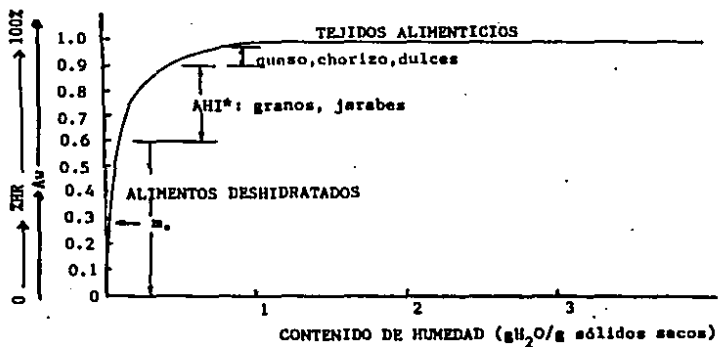
Las Figuras 2 y 3 muestran unas curvas típicas para el contenido de humedad en equilibrio (w , en g de agua por g de sólidos) contra la actividad acuosa (o % de humedad relativa en equilibrio) que podría aplicarse a la mayoría de los sistemas alimenticios o indica el rango al cual un alimento en particular pertenece. Los alimentos deshidratados, en general, tienen una A_w en el equilibrio menor a 0.6; los alimentos semi-húmedos, como granos de cereales, pasitas, dátiles, mielos y alimentos de humedad intermedia generalmente poseen valores de A_w de 0.65 - 0.90; y los alimentos de alta humedad, como quesos, jaleas, mermeladas, carnes, pescado, etc. tienen valores de A_w superiores a 0.90. En la Figura 2 puede observarse que a valores por debajo de 0.99 la A_w no disminuye mucho hasta que el contenido de humedad es reducido a 1 g de agua por g de sólido (50 % base húmeda). La disminución de la A_w puede lograrse por medio de un secado, por la adición de humectantes que reduzcan la A_w o por adición de ingredientes secos como almidón, gomas o fibras, que interaccionen con el agua (9).

Una isoterma de sorción puede construirse o bien partir de un proceso de adsorción (partiendo de una base seca en donde la A_w es 0) o de un proceso de desorción (partiendo de la base húmeda inicial en donde la A_w es 1.0). En ocasiones estas curvas son diferentes para el mismo alimento, a lo cual se denomina histéresis e indica que se tiene un sistema en donde no hay equilibrio (Fig. 4) (9).

Termodinámicamente hablando, es imposible que ocurra la histéresis, ya que la A_w es una función de estado, por tanto la misma composición y contenido de humedad siempre se presentan a una A_w determinada. Las razones por las que se pueden presentar estas diferencias en el contenido de humedad entre dos puntos son las siguientes:

- 1) Durante el secado (desorción) algunos solutos pueden sobresaturarse por debajo de su A_w de cristalización y por tanto retendrán mayor contenido de agua conforme la A_w disminuya. En alimentos con altos contenidos de azúcar generalmente ocurre esto.
- 2) Durante la desorción los capilares pueden vaciarse de forma diferente, por ejemplo, las puntas angostas de poros superficiales atraparán y retendrán agua internamente por debajo de la A_w a la cual debería ser liberada, mientras que durante la adsorción, la parte angosta penetrará que la parte más ancha se llene.
- 3) La tensión superficial, σ_s , y el ángulo de mojado, θ , en la ecuación de Kelvin difieren para la adsorción y desorción, ocasionando que el contenido de humedad sea mayor durante la desorción (9).

FIGURA 2. CURVA TÍPICA PARA LA HUMEDAD EN EQUILIBRIO CONTRA LA A_w PARA ALIMENTOS (8).



*Alimentos de Humedad Intermedia

FIGURA 3. ISOTERMA DE SORCION DE HUMEDAD TIPICA

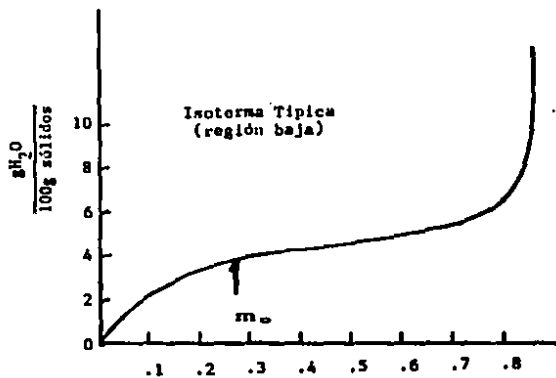
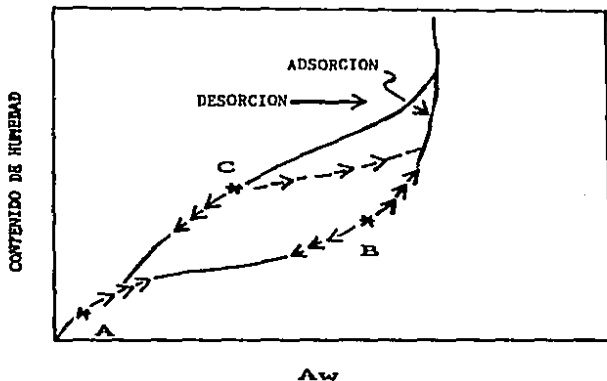


FIGURA 4. ISOTERMAS DE ADSORCION Y DESORCION DE HUMEDAD EN DONDE SE MUESTRA EL FENOMENO DE HISTERESIS (7).



- A: Adsorción de agua hasta la monocapa (sitio polar o agua ligada).
Aw = 0 - 0.35
- B: Adsorción de agua en multicapas (agua intermedia).
Aw = 0.35 - 0.60
- C: Condensación de agua, en forma líquida, dentro de los poros capilares del alimento, seguida por una disolución del material soluble presente (agua libre o móvil).
Aw mayor que 0.60

Se han propuesto diversas ecuaciones para describir las isotermas de sorción de humedad de los alimentos; de éstas, la de BET (Brunauer, Emmett y Teller) es la más utilizada (8):

$$A_w/M (1 - A_w) = 1/M_m C + A_w (C - 1)/M_m C$$

en donde M = contenido de humedad expresado en g de agua por g de sólidos secos

M_m = contenido de humedad correspondiente a la monocapa

A_w = actividad acuosa

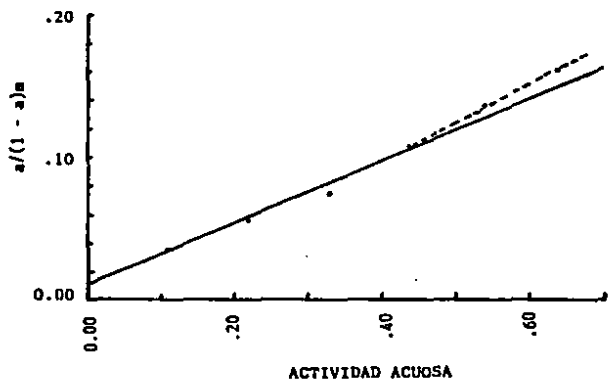
C = constante que depende del calor de adsorción

La ecuación de BET corresponde a una línea recta, y por medio de ella es posible calcular el valor de monocapa M_m a partir de los valores de la pendiente e intersección de la línea (Fig. 5).

La única limitante de la ecuación de BET está restringida a valores de A_w de 0.1 - 0.5, lo cual no es de mucha importancia ya que para alimentos estos valores caen dentro de los valores de monocapa que se han determinado.

En conclusión, la isoterma de sorción de humedad es sumamente útil en la predicción de cambios potenciales en la estabilidad de alimentos; pueda, además, utilizarse en la selección de empaques e ingredientes.

FIGURA 5. GRAFICA DE LA ECUACION DE BET (7).



1.2.3 EFECTO DEL AGUA SOBRE LA CALIDAD DE LOS ALIMENTOS

En general, el agua contenida por los alimentos puede ser de dos tipos: el agua "ligada", que no se congela y no actúa como disolvente y el agua "libre", que sí se congela y actúa como disolvente. El agua "libre" puede desempeñar cualquiera de las siguientes funciones:

- 1) Disolvente para reactivos y productos;
- 2) Reactante, como por ejemplo en reacciones de hidrólisis;
- 3) Producto de las reacciones, como por ejemplo en las reacciones de condensación que ocurren en el oscurecimiento no enzimático; y
- 4) Modificador de la actividad catalizadora o inhibidora de otras sustancias, por ejemplo el agua inactiva algunos de los catalizadores metálicos de la peroxidación de lípidos (8).

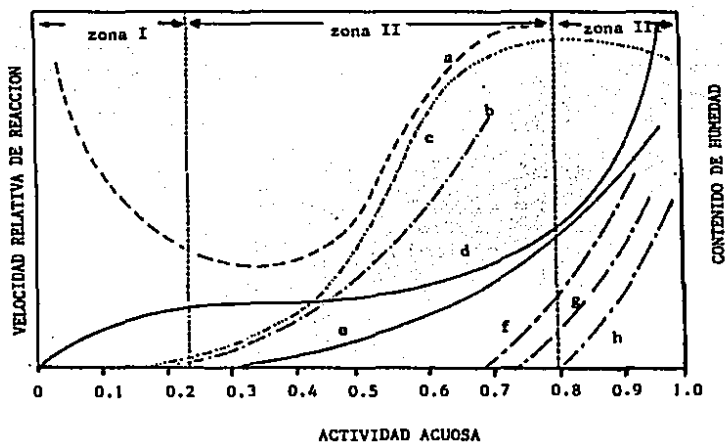
La calidad de los alimentos va a depender no sólo de su composición inicial, sino también de los cambios que ocurren durante su procesamiento, almacenamiento y distribución. Muchos de estos cambios son afectados por el contenido de humedad, así como por el estado en el que se encuentra el agua dentro de los alimentos.

La Figura 6 indica que:

- a) El punto de máxima estabilidad de los alimentos es el de la monocapa, ya que ahí todas las reacciones deteriorativas de la calidad son cero o mínimas;
- b) Los alimentos frescos son relativamente estables al oscurecimiento no enzimático y la peroxidación de los lípidos, pero son atacados fácilmente por enzimas y microorganismos;
- c) Los alimentos de humedad intermedia, por la forma en que han sido elaborados, son estables al ataque microbiano, pero son fácilmente afectados por el oscurecimiento no enzimático, así como por reacciones enzimáticas; no son muy afectados por la peroxidación de los lípidos; y
- d) Los alimentos deshidratados (A_w menor a 0.60) son relativamente estables a los cambios deteriorativos, especialmente al oscurecimiento no enzimático, a reacciones enzimáticas y al ataque microbiano; dependiendo de su A_w , pueden ser atacados por la oxidación de los lípidos.

Obviamente, la estabilidad de estos alimentos aumenta al aproximarse su A_w a la de la monocapa (8).

FIGURA 6. CUADRO DE ESTABILIDAD DE LOS ALIMENTOS (13).



a. Oxidación de lípidos; b. Reacciones hidrolíticas; c. Oscurecimiento no enzimático; d. Isotherma del contenido de humedad; e. Actividad enzimática; f. Crecimiento de hongos; g. Crecimiento de levaduras; h. Crecimiento de bacterias.

1.2.3.1 EFECTO DE LA ACTIVIDAD ACUOSA SOBRE LAS REACCIONES ENZIMATICAS Y OSCURECIMIENTO NO ENZIMATICO

La diversidad y grado de reactividad especifica que caracteriza a las enzimas, en general, también caracteriza su acción en los alimentos. Las enzimas pueden ser adicionadas intencionalmente a los alimentos para catalizar ciertos cambios deseados (ablandamiento de carnes). Así mismo, pueden efectuarse ciertas reacciones benéficas por enzimas que son producidas en los alimentos a partir del crecimiento de determinados microorganismos específicos (maduración de quesos).

De igual importancia son los cambios que producen deterioro y que son catalizados por enzimas que se encuentran presentes en forma natural en el alimento. Algunas reacciones no deseadas producidas por las enzimas son las reacciones de oscurecimiento en frutas y hortalizas catalizadas por fenoloxidasas y la rancidez en harinas producida por la acción de lipasas y lipoxidasas sobre el germen de trigo.

La catálisis producida por las enzimas se puede caracterizar por medio de dos procesos generales:

- 1) El enlace de la enzima con el sustrato generalmente forma un complejo no covalente o una acil-enzima intermedia; y
- 2) El rompimiento de este complejo para obtenerse el producto de la reacción y la enzima.

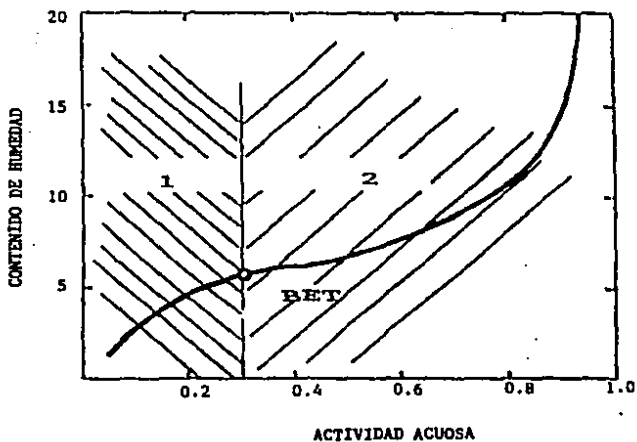
No se conoce con certeza el papel que juega el agua en este proceso, pero es probable que esté involucrada en ambas etapas de la reacción enzimática, actuando principalmente al incrementar la movilidad del sustrato y productos de la reacción. También, el agua participa en reacciones de hidrólisis de tipo enzimático (10).

Probablemente hay muy poca agua disponible para el movimiento del sustrato y de los productos a niveles de A_w por debajo de la monocapa de BET. A estos valores de A_w , el agua "libre" no está disponible para efectuar reacciones, por lo que las reacciones enzimáticas tienden a ser suprimidas en las regiones bajas de la isoterma de sorción (Fig. 7). Sin embargo, conforme la A_w de un alimento se incrementa, comienza la condensación capilar, y la velocidad de reacción enzimática aumenta (10).

El oscurecimiento no enzimático ocurre a través de una serie de reacciones complejas y definidas en las cuales los reactantes principales son generalmente azúcares reductores y los grupos amino de aminoácidos o proteínas.

Estos sustratos, bajo condiciones favorables (temperatura, pH, A_w), proceden a la formación de ciertos compuestos intermedios así como compuestos de nitrógeno heterocíclicos de composición variada y que son sumamente coloridos. Frecuentemente, el oscurecimiento puede ocurrir en ausencia de azúcares reductores y en presencia de sacarosa. En estos casos puede ocurrir una hidrólisis de la sacarosa, en glucosa y fructosa, siendo éste un paso limitante para la velocidad de oscurecimiento (10).

FIGURA 7. RELACION ENTRE LA CURVA DE HISTERESIS Y LA ACTIVIDAD ENZIMATICA EN UN SISTEMA TIPICO DE REACCION (8).



- 1 Actividad enzimática mínima o negativa
- 2 Incremento de la actividad enzimática

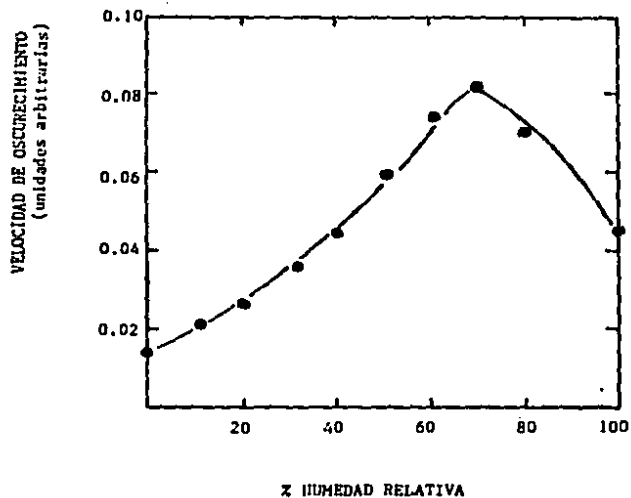
En alimentos, las reacciones de oscurecimiento no enzimático que ocurren durante el procesamiento o almacenamiento pueden aumentar o disminuir la aceptación del alimento. En uno u otro caso, la variación en la Aw puede contribuir a la mayor aceptación del alimento.

Generalmente, la velocidad y grado de la reacción se incrementa al aumentar la Aw hasta que se alcanza un nivel máximo, usualmente a valores de Aw de 0.6 - 0.8, seguido de una disminución en la velocidad de oscurecimiento con subsecuentes incrementos a valores de Aw de 0.75 - 0.85. En la Figura 8 se muestra una curva típica para el oscurecimiento no enzimático en relación al % de humedad relativa (Aw X 100). Aquí se muestra un incremento constante en la velocidad conforme la humedad relativa del sistema (sopa deshidratada de chicharo) se incrementa, con una velocidad máxima a valores de 65 - 70 % de humedad relativa. El tiempo de inducción para la reacción parece ser afectado también por el contenido de humedad del alimento (10).

El oscurecimiento no enzimático es un grave problema en la elaboración de alimentos de humedad intermedia ya que estos alimentos generalmente tienen Aw de 0.6 - 0.8, lo cual los coloca dentro del rango de Aw óptimo en el cual ocurre el oscurecimiento. Además de estas reacciones, dichos alimentos pueden sufrir pérdidas de nutrientes debido a las reacciones que involucran a las proteínas y aminoácidos, los cuales forman los productos del oscurecimiento de Maillard (10).

Se ha sugerido que la velocidad máxima de oscurecimiento en vegetales y frutas ocurre en el rango de Aw de 0.65 - 0.75 (10).

FIGURA 8. EFECTO DE LA HUMEDAD RELATIVA SOBRE LA VELOCIDAD DE OSCURECIMIENTO EN UNA SOPA DE CHICHARO A 54°C (8).



1.2.3.2 EFECTO DE LA ACTIVIDAD ACUOSA SOBRE LA OXIDACION DE LOS ALIMENTOS

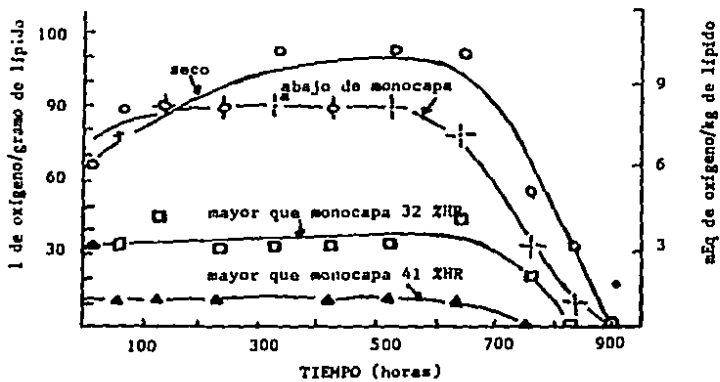
El objetivo primordial de la conservación y almacenamiento de alimentos es el de mantener los productos alimenticios en forma entera y aceptable hasta el momento de su consumo. Por tal motivo, las condiciones existentes durante el periodo de almacenamiento son importantes para determinar el tiempo máximo que un alimento puede conservarse sin sufrir cambios deteriorativos.

Se ha demostrado que al aumentar la Aw de un valor de cero (alimento completamente seco) hasta un valor por encima de la monocapa ocurre una disminución uniforme en la velocidad de peroxidación de los lípidos. En general, se ha establecido que, cuando el contenido de humedad es bajo, y especialmente en el caso de sustratos porosos, la peroxidación de lípidos insaturados procede muy rápidamente. La adición de pequeñas cantidades de agua produce un efecto protector, sobre todo si el sustrato aún se encuentra libre de productos intermedios y finales de peroxidación. Algunos de los mecanismos que se han sugerido para explicar este efecto protector del agua son los siguientes:

- 1) Formación de enlaces de hidrógeno entre el agua e hidroperóxidos, que impiden la descomposición de los hidroperóxidos;
- 2) Disminución de la actividad catalítica de ciertos metales (Fe, Co, etc) al ser hidratados;
- 3) Reacción del agua con dichos metales para producir hidróxidos insolubles, eliminándolos de la fase de reacción; y
- 4) Atraso en la producción de radicales libres por la presencia de agua (8).

En la Figura 9 se muestra la relación entre la velocidad de la reacción de peroxidación y la Aw. Se ha encontrado que a valores mayores de Aw que los indicados, la peroxidación aumenta nuevamente. Este efecto puede explicarse por el aumento de difusión de los catalizadores metálicos que no fueron inactivados y posiblemente también por el hinchamiento de la matriz porosa del alimento deshidratado, que permite mayor adsorción del oxígeno en una mayor superficie de contacto. Finalmente, si el contenido de agua aumenta aún más, la velocidad de peroxidación disminuye nuevamente debido al efecto de la dilución de los reactivos (8).

FIGURA 9. CURVA TÍPICA DE VELOCIDAD DE LA REACCIÓN DE PER-OXIDACIÓN PARA DISTINTOS VALORES DE A_w (6).



1.2.3.3 EFECTO DE LA ACTIVIDAD ACUOSA SOBRE LOS NUTRIMENTOS DE LOS ALIMENTOS

La mayoría de los estudios sobre el efecto de la Aw sobre los compuestos nutricionales se ha enfocado hacia el ácido ascórbico. Esta vitamina es relativamente estable a niveles bajos de Aw, pero al incrementarse el contenido de humedad en alimentos ocurre un rápido incremento en la velocidad de descomposición del ácido ascórbico. Además, esta vitamina se destruye más rápidamente en sistemas de desorción que en los de adsorción. Junto con la Aw, la temperatura de la reacción también tiene una gran influencia sobre la velocidad de destrucción. Estudios han indicado que la descomposición del ácido ascórbico puede ocurrir aún por debajo de los valores de monocala de BET (10).

La conservación del ácido ascórbico en alimentos por largos periodos requiere, por tanto, de un almacenamiento a bajas temperaturas y a niveles de Aw lo más bajos posibles.

1.2.3.4 EFECTO DE LA ACTIVIDAD ACUOSA SOBRE EL CRECIMIENTO MICROBIANO

Se ha demostrado que la A_w tiene gran influencia sobre las cuatro fases principales del ciclo de crecimiento microbiano, por el efecto que se tiene sobre la fase de adaptación (lag) o tiempo de germinación, velocidad de crecimiento, tamaño de la población en la fase estacionaria y subsecuente velocidad de muerte. Experimentalmente, los parámetros más frecuentemente considerados son la velocidad de crecimiento, el grado de crecimiento (tamaño de la población en la fase estacionaria) y la presencia o ausencia de crecimiento.

En base a esto, el criterio más importante a considerar es la A_w mínima necesaria para permitir el crecimiento microbiano, sin que se vean afectadas otras características del alimento.

Se ha encontrado que los valores máximo y mínimo de A_w para el crecimiento microbiano son de 0.90 y 0.62 (11). La mayoría de los microorganismos, incluyendo los patógenos, crecen más rápidamente a niveles de A_w de 0.980 - 0.995; si la A_w del medio se reduce por debajo de su valor óptimo, la curva de crecimiento del microorganismo varía, generalmente aumentando la fase lag y disminuyendo la pendiente de la fase exponencial y, en ocasiones, también hay disminución del número máximo en la fase estacionaria (Fig. 10). A A_w muy bajas, la fase lag puede hacerse infinita, es decir, cesa el crecimiento (11) o puede ocurrir la muerte del microorganismo.

Existen otros microorganismos importantes desde el punto de vista de la conservación de los alimentos que, sin embargo, crecen a A_w reducidas, como los halófilos (generalmente bacterias que necesitan concentraciones altas de cloruro de sodio para su desarrollo) y los xerófilos (hongos y levaduras que crecen más rápidamente bajo condiciones de relativa sequedad o son capaces de multiplicarse a A_w inferiores a 0.85) (12).

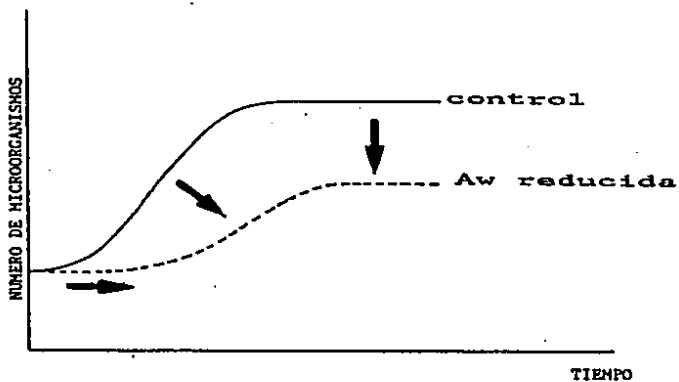
En el Cuadro VII se muestran los valores de A_w mínimos necesarios para el crecimiento de algunos microorganismos (bacterias, hongos y levaduras) comúnmente encontrados en frutas y subproductos, manteniéndose todos los demás factores de crecimiento (temperatura, pH, nutrientes, presión de oxígeno, etc.) en sus valores óptimos. Los valores reportados en el Cuadro VII son sólo indicativos ya que dependen del soluto usado para reducir la A_w del medio (11).

Al igual que ocurre con la proliferación, la A_w del medio también afecta la supervivencia de los microorganismos. La letalidad disminuye a temperatura ambiente o alta (tratamiento térmico) al reducirse la A_w . Esta protección puede disminuirse por ejemplo bajo condiciones de acidez (14).

Generalmente, los límites de A_w para la esporulación son semejantes a los del crecimiento bacteriano en contraste, las esporas pueden germinar a valores de A_w más bajos que aquellos que permiten el crecimiento (13).

Por otra parte, varios hongos xerofílicos (*Aspergillus* y *Penicillium*) son capaces de producir toxinas. Los límites de A_w para la producción de toxinas son sensiblemente superiores a los que corresponden al crecimiento y pueden verse afectados por otros factores como el pH. La producción de micotoxinas ocurre a A_w comprendidas entre 0.85 y 0.93 (10).

FIGURA 10. EFECTO DE LA REDUCCION DE LA A_w EN EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS.



CUADRO VII

EFFECTO DE LA Aw SOBRE EL CRECIMIENTO DE BACTERIAS, HONGOS
Y LEVADURAS TÍPICAS DE FRUTAS Y SUBPRODUCTOS.
T = 20 - 30 ° C (diversas fuentes)

<u>ORGANISMO</u>	<u>Aw MINIMA PARA EL CRECIMIENTO</u>
Alternaria sp	0.840 - 0.850
Aspergillus glaucus	0.730
Aspergillus niger	0.770 - 0.830
Botrytis cinerea	0.930
Byssochlamys nivea	0.840
Candida sp	0.880
Cladosporium herbarum	0.880
Cladosporium sp	0.850 - 0.880
Clostridium butyricum	0.965
Clostridium pasterianum	0.985
Chrysosporium sp	0.690 - 0.710
Debaryomyces sp	0.870
Debaryomyces hansenii	0.830
Hanseniaspora sp	0.880
Hansenula sp	0.880 - 0.970
Lactobacillus sp	0.940 - 0.970
Monascus bisporus	0.610
Mucor sp	0.900 - 0.930
Paecilomyces variotti	0.840
Penicillium sp	0.800 - 0.850
Pichia sp	0.920
Rhizopus nigricans	0.930
Rhizopus sp	0.930
Rhodotorula sp	0.920
Saccharomyces bailii	0.800
Saccharomyces bisporus	0.700
Saccharomyces rouxii	0.620 - 0.860
Saccharomyces sp	0.900 - 0.950
Schizosaccharomyces sp	0.980
Streptococcus thermophilus	0.984
Torulopsis sp	0.880
Torulopsis famata	0.650 - 0.750
Trichothecium roseum	0.900

1.3 METODO COMBINADO DE CONSERVACION DE ALIMENTOS

La conservación de alimentos se basa en la manipulación de diversos factores, siendo los principios más importantes los siguientes:

1. Remoción de humedad: secado, deshidratación y concentración.
2. Tratamientos térmicos: escaldado, pasteurización y esterilización.
3. Tratamientos a bajas temperaturas: refrigeración y congelación.
4. Control de acidez: fermentación y aditivos ácidos.
5. Aditivos químicos.
6. Irradiación.

La conservación de frutas por métodos combinados se basa en la inhibición del desarrollo de microorganismos por la interacción combinada de distintos factores de "stress": Aw, pH, potencial redox (Eh), temperatura, adición de conservadores químicos (ácido sórbico, ácido benzoico, dióxido de azufre, etc.), escaldado (disminución de la contaminación inicial e inactivación enzimática), atmósfera controlada, restricción de nutrientes, etc.

Son muchos los alimentos conservados por métodos que combinan distintos factores de "stress", si bien recientemente se ha tomado conciencia del modo de acción y del efecto sinérgico del uso combinado de los factores de conservación.

Uno de los factores de "stress" que limita el crecimiento de las formas vegetativas bacterianas, hongos y levaduras y la germinación de esporas es la Aw. La preservación de un alimento por reducción de la Aw se lleva a cabo por disolución de solutos en la fase acuosa de los alimentos o por extracción del agua por medio de métodos tales como deshidratación, liofilización o por disminución de la cantidad de agua disponible mediante la congelación.

Otro factor de preservación es el control del pH. En estado natural, la mayor parte de las frutas son ácidas, lo cual limita al crecimiento de bacterias patógenas productoras de intoxicaciones alimenticias. En el Cuadro VIII se muestran los valores de pH aproximados de algunas frutas (12). Muchas veces se logra preservar las frutas por medio de su acidez, en forma natural (por fermentación) o artificial (por adición de ácidos débiles), con lo que se consigue inhibir la flora microbiana.

Cuando la célula encuentra un medio con un pH menor al óptimo para el crecimiento, reacciona para mantener su valor interno de pH constante (homeostasis) y por lo tanto debe absorber una cantidad de protones que pasan al citoplasma. Este proceso también requiere energía y, por lo tanto, la energía disponible para el crecimiento disminuye. El valor de pH límite para el crecimiento se alcanza cuando la velocidad de generación de energía no es lo suficientemente alta para mantener el pH interno constante y la síntesis celular (15).

Los ácidos fuertes actúan proporcionando una concentración externa de protones muy elevada, que determina la acidificación del medio interno celular. Normalmente, estas condiciones son inaceptables en alimentos, pero permisibles en bebidas carbonáticas que emplean el ácido pirofosfórico como acidulante.

CUADRO VIII

VALORES APROXIMADOS DE pH DE ALGUNAS FRUTAS (12)

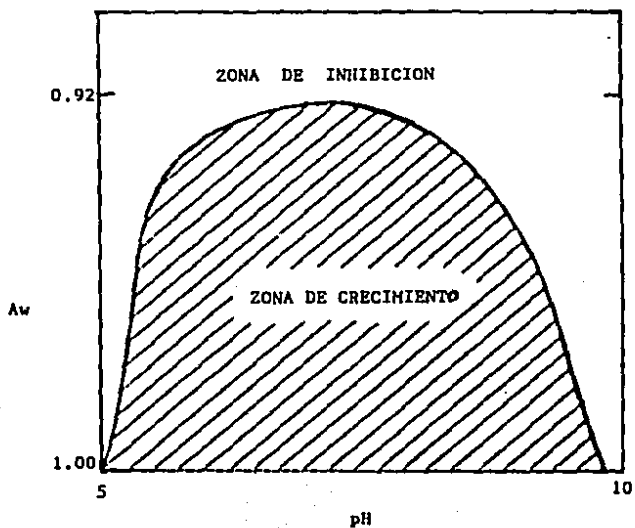
FRUTA	pH
Pistano	4.5 - 4.7
Higo	4.6
Toronja	3.0
Manzana	2.9 - 3.3
Limón	1.8 - 2.0
Melón	6.3 - 6.7
Naranja	3.6 - 4.3
Ciruola	2.8 - 4.6
Sandia	5.2 - 5.6
Uva	3.4 - 4.5
Durazno	3.4 - 4.2
Frambuesa	2.9 - 3.7
Fresa	3.0 - 3.9
Grosella blanca	2.8 - 3.1
Lima	2.2 - 2.4
Pera	3.8 - 4.6
Pina	3.4 - 3.7

Los ácidos débiles lipofílicos (ácido cítrico, sórbico, benzoico y propiónico), en cambio, actúan como transportadores de protones a través de la membrana celular, acidificando el interior de las células microbianas e inhibiendo el transporte de nutrientes. Algunos ácidos como el cítrico se disocian dando aniones que la célula es capaz de transportar y no inhiben el metabolismo energético. Otros ácidos, como el acético y fórmico, son eficaces conservadores no sólo por ser conductoras de protones, sino que además proporcionan concentraciones intracelulares de aniones que ejercen una acción inhibitoria (12).

Si se consideran los dos factores de "stress" (A_w y pH) en forma aislada, ninguno de ellos podría ser fundamento único de un método de conservación de frutas. Por ejemplo, para inhibir el crecimiento de microorganismos se debería de reducir la A_w hasta valores de 0.61, lo cual se lograría por medio de una deshidratación ya que no existen humectantes compatibles que permitan reducir la A_w a tal grado. Lo mismo ocurre respecto al pH ya que para inhibir hongos y levaduras se debería reducir el pH de la fruta a valores cercanos a 1 (Cuadro IX). Pero, haciendo que ambos factores interaccionen entre sí y/o con otros factores se logra un sistema combinado de conservación.

La interrelación entre la A_w y el pH sobre el crecimiento de los microorganismos puede observarse en la Figura 11. Generalmente, cuando la A_w de un alimento es reducida, el rango de pH dentro del cual ocurriría el crecimiento bacteriano disminuye. Para hongos y levaduras ocurren efectos similares (10).

FIGURA 11. EFECTO DE LA A_w Y DEL pH EN EL CRECIMIENTO DE MICROORGANISMOS (16).



CUADRO IX

VALORES APROXIMADOS DE pH MAXIMO Y MINIMO PARA EL
CRECIMIENTO DE HONGOS Y LEVADURAS

ORGANISMO	pH MINIMO	pH MAXIMO
Levaduras:		
<i>Candida pseudotropicalis</i>	2.30	8.80
<i>Hansenula candidensis</i>	2.15	8.60
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	2.35	8.60
<i>Saccharomyces fragilis</i>	2.40	9.05
<i>Saccharomyces microellipsoides</i>	2.20	8.80
<i>Saccharomyces pastori</i>	2.10	8.80
<i>Saccharomyces exiguus</i>	1.50	-
<i>Candida krusei</i>	1.50	-
<i>Hanseniaspora melligeri</i>	1.50	-
<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	1.50	-
Hongos:		
<i>Aspergillus oryzae</i>	1.60	9.30
<i>Penicillium italicum</i>	1.90	9.30
<i>Penicillium variable</i>	1.60	11.10
<i>Fusarium oxysporum</i>	1.80	11.10
<i>Marasmius foetidus</i>	2.00	6.80
<i>Phycomyces blakesleeanus</i>	3.00	7.50

Un caso de sinergismo entre pH y adición de conservadores químicos se presenta cuando se usan ácidos lipofílicos. La forma no disociada del ácido se disuelve en la membrana celular y actúa como transportador de protones, haciendo que los mismos penetren en la célula más rápidamente que en su ausencia y, por tanto, incrementando los requerimientos energéticos para mantener el pH constante (15).

Se ha demostrado que los sorbatos juegan un papel importante en el desarrollo de alimentos de humedad intermedia. La Aw de estos alimentos es lo suficientemente baja como para controlar el crecimiento de bacterias más no el de hongos y levaduras; por lo que los sorbatos son utilizados como agentes antimicrobicos. En los últimos años, los sorbatos también se han empleado como factores de "stress" en el control del crecimiento bacteriano en alimentos de humedad intermedia (17).

La adición de dióxido de azufre como conservador químico se realiza generalmente en forma de sulfito o bisulfito. A medida que disminuye el pH, la proporción de iones sulfito desciende y aumenta el porcentaje de dióxido de azufre a expensas de los iones bisulfito. La actividad antimicrobiana está relacionada con la forma molecular libre no ionizada, por lo que los tratamientos son más eficaces a un pH menor a 4. El dióxido de azufre penetra más fácilmente a las células de los microorganismos que las formas iónicas (18). La actividad tóxica del dióxido de azufre sobre los microorganismos es selectiva. Es fungicida aún a concentraciones inferiores a 25 ppm (19). Las bacterias son mucho más resistentes aún a concentraciones altas de dióxido de azufre, siendo la velocidad de muerte lenta. Es más eficaz contra bacterias Gram negativas que contra bacilos Gram positivos (20).

La desventaja del uso de dióxido de azufre como único factor de preservación es que altera el sabor del alimento además de disminuir su valor nutritivo pues provoca la destrucción de la vitamina B₂. En general, los efectos del dióxido de azufre sobre los alimentos son los siguientes:

- a) Prevención o reducción de la proliferación de microorganismos.
- b) Eliminación selectiva de algunos otros microorganismos considerados indeseables.
- c) Blanqueador.
- d) Antioxidante.
- e) Inhibidor del oscurecimiento enzimático y no enzimático (reacción de Maillard).

El escaldado es otro factor de conservación empleado en frutas y tiene por objetivo producir los siguientes efectos:

- a) Inactivación de enzimas.
- b) Expulsión del aire intracelular.
- c) Reducción del número de microorganismos presentes.
- d) Remoción de aromas y sabores indeseables.
- e) Ablandamiento de la fruta para facilitar su despulpado.
- f) Fijar el color característico de cada producto.

En conclusión, puede decirse que si se combinan de forma adecuada los diferentes factores de "stress", dependiendo de las necesidades específicas, pueda lograrse un método adecuado para la conservación de alimentos.

1.4 ELABORACION DE PULPAS

Son escasos los productos de plátano que han llegado a la etapa de comercialización. Esto debido posiblemente a que la fruta tiene el inconveniente de ser muy susceptible al deterioro del sabor y color cuando se procesa ya que los productos de plátano deben competir con la fruta fresca que puede encontrarse a precios razonables y con una disponibilidad permanente durante el año.

No obstante, el incumplimiento de la normas de calidad establecidas para la exportación de la fruta genera en los países productores excedentes bastante considerables. Esto, unido a la evidente saturación del mercado para la fruta fresca hace cada vez más imperiosa la necesidad de combinar factores que aseguren productos de plátano de buena calidad, costo de proceso adecuado y mercados seguros.

Dentro de los productos de plátano de mayor disponibilidad en el mercado se encuentra el puré, el cual se produce por uno de los siguientes métodos (21):

- a) Enlatado aséptico.
- b) Acidificación seguida de un enlatado normal.
- c) Congelamiento rápido.
- d) Aditivos químicos.

En general, las etapas por seguir en la elaboración de pulpas son la siguientes (22,23):

1) Recibo y selección de la fruta.

La fruta debe seleccionarse para trabajar únicamente con el material maduro y sano. La fruta verde se deja madurar en lugar adecuado, la magullada puede emplearse en otros procesos y la descompuesta se descarta en su totalidad.

2) Lavado y desinfección.

La fruta seleccionada (sana y madura) se lava con agua corriente para remover la suciedad que trae adherida a la corteza; a continuación se sumerge en agua clorada (agua con 15 a 25 ppm de cloro activo) durante 5 minutos con objeto de desinfectarla al reducir la población microbiana; finalmente, se procede a enjuagar el producto con agua corriente.

3) Escaldado.

El escaldado puede efectuarse por medio de alguno de los siguientes métodos:

- a) Inmersión en agua hirviendo.
- b) Acción directa de vapor de agua sobre la fruta.
- c) Tratamiento con microondas.

El escaldado se aplica al producto hasta que la fruta alcance en su interior una temperatura mínima de 75°C. En general, esto se logra en unos 10 minutos para el caso de ebullición del producto en agua, en unos 6 minutos para el tratamiento con vapor directo y tan sólo en unos segundos para el sistema de microondas; aunque debe considerarse que el tiempo en que se logra la transmisión de calor a la fruta hasta obtener 75°C en su interior va a depender del tamaño de cada unidad.

El escaldado del plátano maduro puede hacerse sin cáscara para el tratamiento con vapor y con la cáscara o sin ella y partido transversalmente cuando se hierve en agua.

4) Enfriamiento.

El plátano debe enfriarse a una temperatura máxima de 35°C antes de someterlo al tratamiento químico.

5) Tratamiento químico.

Como agente químico preservador se emplea metabisulfito o bisulfito de sodio. Este se disuelve en una pequeña porción de agua y se añade al puré después de haber pasado el plátano por el despulpador, o bien se pone el plátano en inmersión en una solución de bisulfito después de haberse escaldado y enfriado.

La cantidad de bisulfito a añadir va a depender del tiempo de conservación que se requiera. Con 200 ppm de sulfito, la pulpa se conserva empacada hasta por 8 días en cualquier clima y con 2000 ppm de sulfito, se logra mantenerla estable por más de 2 años. Las pulpas conservadas con sulfito en elevadas concentraciones no requieren de refrigeración durante el almacenamiento y son igualmente estables en zonas frías, templadas y cálidas.

6) Obtención del puré.

La producción de pulpa o puré se lleva a cabo por varios métodos de acuerdo con el tipo de fruta. En el caso del plátano, éste se tritura en un despulpador.

Para obtener un puré fino, libre de pequeñas partículas arenosas, puntos negros o material fibroso, es aconsejable refinar el puré pasándolo a través de un equipo cernidor con una malla que asegure la remoción de las partes indeseables.

7) Acidificación.

En este paso se hace un ajuste del pH del puré desde 3.5 a 4.2 con ácido cítrico, con objeto de asegurar la conservación del puré por largos periodos, evitándose el crecimiento de microorganismos al actuar de manera sinérgica junto con los demás factores de conservación.

8) Adición de sorbato de potasio.

En general, se utilizan 1000 ppm de sorbato de potasio para evitar el crecimiento de hongos y levaduras.

9) Almacenamiento.

Cuando el proceso es aplicado correctamente, el almacenamiento puede hacerse en cualquier clima y el tiempo de conservación de las pulpas es prácticamente el mismo, independientemente de la temperatura de almacenamiento.

II. MATERIALES Y METODOS

2.1 MATERIALES

2.1.1 EQUIPO

Cámaras ambientales marca Hotpak, con controles de temperatura y humedad relativa.

Despulpador marca Bertuzzi, con malla con perforaciones de 2 mm de diámetro.

Espectrofotómetro marca Bausch & Lomb, modelo Spectronic 20.

Espectrofotómetro de fluorescencia marca Perkin-Elmer, modelo 204.

Espectrofotómetro de reflectancia relativa marca Agtron, modelo M-400 A.

Estufa marca Precision Scientific, modelo Thelco.

Estufa de secado con vacío marca Precision Scientific.

Higrómetro marca Retronic Hygroskop-DT.

Potenciómetro digital marca Corning, modelo 125.

Refractómetro marca Erma, modelo 16171.

Viscosímetro de Haake, modelo PG 142 operando bajo las siguientes condiciones:

Temperatura: 25 °C

Sensor SVI : A = 12.4 Pascals/unidad de escala

M = 0.89 minutos/segundo

G = 13,920 mPa²escala/unidad de escala*minuto

En donde A, M y G son constantes del aparato para el sensor.

2.1.2 MATERIAS PRIMAS

Azúcar invertido.

Jarabe de maíz con 42 DE (dextrosa equivalente).

Sacarosa (azúcar comercial).

Plátano Tabasco, obtenido de la Central de Abastos, con un grado de madurez de 6, el cual fue evaluado visualmente de acuerdo al Cuadro III dado en el capítulo de Antecedentes.

2.1.3 REACTIVOS

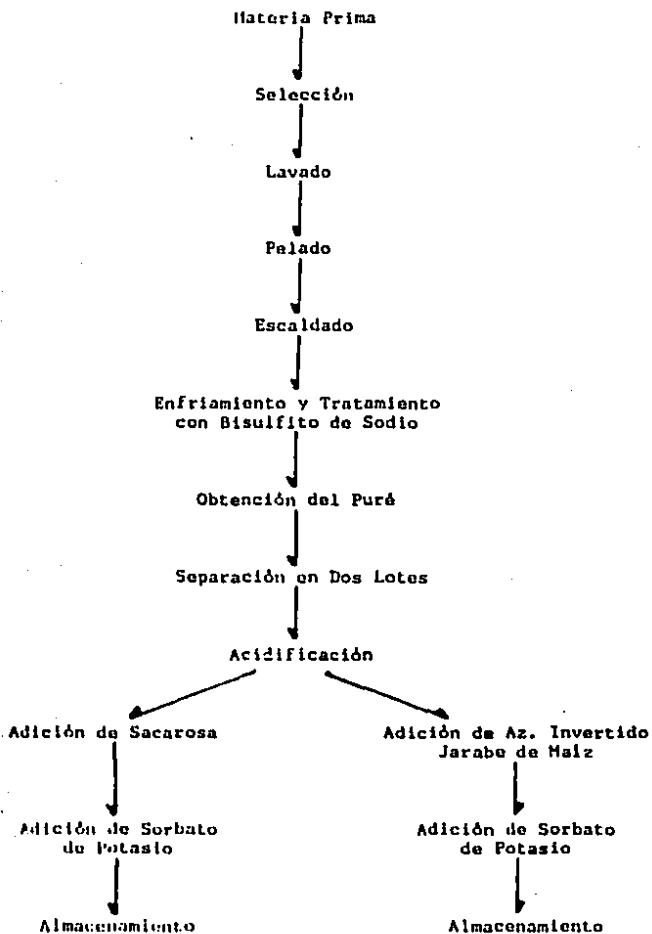
Se utilizaron reactivos de grado analítico, a partir de los cuales se prepararon las soluciones requeridas en cada determinación.

2.1.4 MEDIOS DE CULTIVO

Agar Cuenta Estándar (DIFCO).

Agar de Papa y Dextrosa (BIOXON).

DESARROLLO EXPERIMENTAL



2.2 METODOS

2.2.1 ELABORACION DEL PURE DE PLATANO

La elaboración del puré se basó en el efecto combinado de los siguientes factores de conservación:

- Aw
- pH
- Escaldado
- Adición de conservadores (bisulfito de sodio y sorbato de potasio)

Se tomó un lote de plátanos, calculando que una vez que éstos fueran limpiados, se eliminarían los frutos en malas condiciones y se pelaron, se tuvieron aproximadamente 50 kg de pulpa. Una vez pelados se cortaron en mitades y se escaldaron en agua a 92°C durante 7 minutos. Posteriormente se enfriaron sumergiéndolos 1.5 minutos en una solución que contenía 1,000 ppm de bisulfito de sodio. El plátano así tratado se llevó al despulpador al cual se había adaptado una malla con perforaciones de 2 mm de diámetro. Una vez obtenida la pulpa, ésta se pesó y se dividió en dos partes iguales para ser tratadas de forma diferentes.

A una porción de la pulpa se le agregó 40 % de sacarosa, 0.22 % de ácido cítrico para conseguir un pH aproximado de 4.2 y 1,000 ppm de sorbato de potasio.

A la otra porción de la pulpa se le agregó 20 % de azúcar invertido, 20 % de jarabe de maíz con 42 DE, 0.22 % de ácido cítrico y 1,000 ppm de sorbato de potasio.

Los purés así obtenidos se envasaron en botes de plástico con capacidad de 3 kilogramos y se almacenaron durante 2 meses bajo 3 diferentes condiciones:

- 5°C
- Temperatura ambiente (no controlada)
- 25°C

Los criterios que se siguieron para determinar qué puré se iba a elaborar fueron dos. El primero está basado en la Aw final del producto después de adicionar los distintos humectantes: azúcar, jarabe de maíz con 42 DE y azúcar invertido en distintas proporciones. El segundo se basó en la evaluación sensorial de un panqué y de un yogurt elaborados con los distintos purés:

- Puré con 40 % de sacarosa
- Puré con 40 % de azúcar invertido
- Puré con una mezcla de sacarosa y azúcar invertido en proporción de 20:20
- Puré con una mezcla de azúcar invertido y jarabe de maíz con 42 DE en proporción de 20:20

La evaluación sensorial se realizó empleando 30 jueces no entrenados en una prueba de ordenación que consistía en el acomodamiento de las muestras presentadas de acuerdo a su preferencia. Para dichas evaluaciones se empleó el cuestionario mostrado en el Cuadro X.

CUADRO X
EVALUACION SENSORIAL

Nombre: _____ Fecha: _____

PRUEBA DE ORDENACION

Producto: _____ Prueba para: _____

Instrucciones:

Pruebe las muestras primero en el orden presentado de izquierda a derecha; después puede probarlas en el orden que desee.

Anote el código para cada una de las muestras en el orden de su preferencia, anotando en primer lugar el de mayor agrado y así sucesivamente.

Si le disgustan todas las muestras, ordénelas de acuerdo a la que menos le disguste.

ORDEN DE PREFERENCIA	CODIGO DE LA MUESTRA	DESCRIBA SOLO LO QUE LE DISGUSTE DE LA MUESTRA
Primero	_____	_____ _____
Segundo	_____	_____ _____
Tercero	_____	_____ _____
Cuarto	_____	_____ _____

Comentarios: _____

El panqué elaborado para la evaluación tenía la siguiente formulación:

INGREDIENTES	%
Harina	32.5
Azúcar	16.7
Mantequilla	8.6
Puró de plátano	26.7
Huevo	11.5
Leche agria	3.3
Bicarbonato de sodio	0.7

El yogurt empleado para la evaluación sensorial se elaboró a partir de un yogurt natural comercial al cual se adicionó un 20 % en peso de los distintos purés con los que se contaba.

2.2.2 METODOS DE ANALISIS

Los cambios que ocurrieron durante el almacenamiento, así como la caracterización del plátano fresco y de los purés elaborados se determinaron mediante los análisis que se describen a continuación.

1. Actividad Acuosa.

La A_w de los purés se calculó teóricamente mediante la ecuación de Norrish y, además, se determinó experimentalmente utilizando un higrómetro marca Rotronic Hygroskop-DT previamente calibrado y a 25°C.

La ecuación de Norrish utilizada para calcular la A_w en soluciones acuosas de no electrolitos puros para sistemas binarios (24) es la siguiente:

$$A_w = X_1 \exp(-K X_2^h)$$

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.

El valor de K empleado para el cálculo de la A_w teórica de los purés es el siguiente:

COMPUESTO	K
Sacarosa	- 2.70
Jaraba de Maiz con 42 DE	- 2.31
Glucosa	- 0.70
Azúcar Invertido	- 0.70

2. Humedad.

La humedad se determinó gravimétricamente por secado, colocándose la muestra en una estufa de vacío a 70°C y 381 mm Hg (15 in Hg) durante 8 hr, utilizando ácido sulfúrico como agente desecante. Además, se mezcló la muestra con proporciones iguales de arena con objeto de aumentar la superficie de contacto y facilitar el secado (25).

3. Sólidos Totales.

Los sólidos totales se determinaron por diferencia con el contenido de humedad (26).

4. Grados Brix.

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

5. Acidez.

La acidez se determinó por medio de una titulación con hidróxido de sodio en presencia de fenoftaleína. Los resultados se reportaron como % de Ácido málico para el plátano fresco y % de Ácido cítrico para los purés elaborados (26).

6. pH.

El pH se midió con un potenciómetro previamente calibrado utilizando dos soluciones tampón estándar (26).

7. Pardeamiento No Enzimático.

El pardeamiento no enzimático en los purés se determinó haciendo una extracción de los pigmentos con metanol y posteriormente midiendo la absorbancia a 440 nm (25).

8. Azúcares Reductores.

El contenido de azúcares reductores directos y totales se determinó por el método de Fehling, que se basa en la capacidad reductora de los azúcares con grupos aldehído y cetónico libres sobre un compuesto cúprico en un medio alcalino, empleando tartrato doble de sodio y potasio para complejar los iones cúpricos, evitando así la precipitación del óxido cúprico (26).

9. Ácido Ascórbico.

El ácido ascórbico se determinó mediante el método microfluorométrico, el cual se basa en la oxidación del ácido ascórbico en ácido dehidroascórbico en presencia de carbón activado. La forma oxidada del ácido se hace reaccionar con o-feniléndiamina para producir el fluoróforo. La intensidad de la fluorescencia va a ser proporcional a la concentración de ácido ascórbico (27).

10. Anhídrido Sulfuroso.

El contenido de dióxido de azufre residual se determinó en los purés

antes de ser almacenados, así como en el transcurso de su almacenamiento. El método empleado se basa 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 estándar de yodo (28).

11. Color.

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

12. Sorbato de Potasio.

El contenido de sorbato de potasio se determinó en los purés al inicio y al final del almacenamiento por el método de Schmidt modificado, el cual se basa en la oxidación del ácido sórbico con dicromato de potasio en un medio ácido 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 (29).

13. Viscosidad.

La viscosidad en los purés se midió bajo las siguientes condiciones del aparato:

- tiempo de llegada a las rpm fijadas: 2 min.
- número de rpm (n): 500.
- tiempo base: 50 seg/cm a 50 mV/cm.

Parámetros medidos:

Gradiente de corte: $D = M \times n \text{ (seg}^{-1}\text{)}$

Esfuerzo de corte: $\tau = A \times s \text{ (Pa)}$

Viscosidad: $\eta = G \times s/n \text{ (Cp)}$

14. Análisis Microbiológicos.

Los purés fueron evaluados microbiológicamente 24 hr después de haber sido elaborados, así como después de haber sido almacenados durante 1 y 2 meses.

Los análisis microbiológicos que se efectuaron fueron los siguientes:

- a) Cuenta Total: Se efectuaron diluciones decimales sucesivas del puré con un regulador de fosfato con pH de 7, hasta 10⁻⁵. Se transfirió 1 ml de cada dilución a cajas Petri a las que se adicionó agar para cuenta estándar, se homogenizó y dejó solidificar para ser incubadas a 35°C durante 72 hr (30).
- b) Hongos y Levaduras: Se efectuaron diluciones decimales de la misma manera que para la cuenta total. Se transfirió 1 ml de cada dilución a

cajas Petri y se agregó agar de papa y dextrosa conteniendo ácido tartárico. Una serie de cajas se incubó a 22° C por 5 días para la evaluación de hongos y otra a 35° C por 48 hr para el recuento de levaduras (30).

III. RESULTADOS

1. Caracterización del Plátano Fresco.

El Cuadro XI muestra los resultados obtenidos de la caracterización del plátano fresco que se utilizó en la elaboración de los purés.

CUADRO XI
CARACTERIZACION DEL PLATANO FRESCO

DETERMINACION	plátano tabasco
Materia prima	6
Grado de madurez	0.973
Actividad acuosa	74.3
Humedad (%)	18.8
Azúcares reductores directos (%)	36.7
Azúcares reductores totales (%)	21.0
Grados Brix	25.7
Sólidos totales (%)	29.4
Acido ascórbico (mg/100 g b.s.)	0.37
Acidez (% ácido málico)	4.84
pH	

2. Actividad Acuosa.

La Aw determinada experimentalmente fue mayor a la calculada por la ecuación de Norrish para ambos purés, como puede observarse en el Cuadro XII. En el caso del puré que contenía sacarosa la diferencia no fue muy significativa, lo cual puede deberse al grado de madurez del plátano, ya que la Aw va a depender de él. Para el puré que contenía la mezcla de azúcar invertido y jarabe de maíz, la diferencia entre la Aw medida y calculada fue muy grande, lo cual puede deberse a que el azúcar invertido que se utilizó se encontraba en forma líquida y a que quizás su Aw fuera superior a la utilizada en la ecuación de Norrish.

CUADRO XII
Aw EXPERIMENTAL Y CALCULADA PARA LOS PRODUCTOS
ELABORADOS

	Plátano Fresco	Puré con Sacarosa	Puré con Az. Invertido y Jarabe de Maíz
Aw teórica	0.970	0.933	0.878
Aw medida	0.973	0.926	0.935

3. Humedad y Sólidos Totales.

De acuerdo a los resultados mostrados en el Cuadro XIII pueda observarse que la humedad y los sólidos totales se mantuvieron constantes a lo largo del almacenamiento, lo que indica que éstos no perdieron agua, causa que podría haber modificado las otras determinaciones.

CUADRO XIII
HUMEDAD Y SOLIDOS TOTALES

Tiempo de Almacenamiento (días)	HUMEDAD (%)			SOLIDOS TOTALES (%)		
	Temperatura de Almacenamiento					
	25 ° C	T. amb.	5 ° C	25 ° C	T. amb.	5 ° C
Puré con Sacarosa						
0	49.4	49.4	49.4	50.6	50.6	50.6
7	49.3	49.0	49.7	50.7	51.0	50.3
15	49.5	49.2	49.8	50.5	50.8	50.2
22	49.2	49.3	49.6	50.8	50.7	50.4
30	49.3	49.5	49.8	50.7	50.5	50.2
45	49.2	49.3	49.7	50.8	50.7	50.3
60	49.1	49.4	49.7	50.9	50.6	50.3
Puré con Az. Inv. y Jarabe de Maíz						
0	56.3	56.3	56.3	43.7	43.7	43.7
7	56.5	56.5	56.5	43.5	43.5	43.5
15	56.5	56.5	56.9	43.5	43.5	43.1
22	56.1	56.4	56.6	43.9	43.6	43.4
30	56.5	56.5	57.1	43.5	43.5	42.9
45	56.5	55.9	57.1	43.5	44.1	42.9
60	56.6	55.9	56.8	43.4	44.1	43.2

4. Grados Brix, Acidez y pH.

Igual que en el caso de los sólidos totales, los grados Brix, la acidez y el pH se mantuvieron constantes a lo largo del almacenamiento, lo cual es indicativo de que no existen factores como temperaturas elevadas o intercambio de gases que afectaran a estos parámetros. Los resultados obtenidos se muestran en el Cuadro XIV.

CUADRO XIV
GRADOS BRIX, ACIDEZ Y pH

Tiempo de Almac. (días)	GRADOS BRIX			ACIDEZ (% ác.cítrico)			pH		
	Temperatura de Almacenamiento								
	25 °C	T.amb.	5 °C	25 °C	T.amb.	5 °C	25 °C	T.amb.	5 °C
Puró c/Sacarosa									
0	49.5	49.5	49.5	0.45	0.45	0.45	4.23	4.23	4.23
7	49.5	49.5	49.5	0.43	0.41	0.45	4.22	4.22	4.22
15	49.5	49.5	49.5	0.43	0.42	0.43	4.22	4.22	4.22
22	49.5	49.5	49.5	0.43	0.43	0.43	4.21	4.21	4.21
30	49.5	49.5	49.5	0.46	0.45	0.47	4.39	4.38	4.38
45	49.5	49.5	49.5	0.44	0.45	0.46	4.39	4.38	4.38
60	49.5	49.5	49.5	0.44	0.43	0.43	4.39	4.39	4.39
Puró c/Az.Inv. y J. de Maiz									
0	42.0	42.0	42.0	0.47	0.47	0.47	4.21	4.21	4.21
7	42.0	42.0	42.0	0.45	0.45	0.46	4.20	4.20	4.20
15	42.0	42.0	42.0	0.45	0.44	0.45	4.20	4.20	4.20
22	42.0	42.0	42.0	0.43	0.44	0.45	4.29	4.20	4.18
30	42.0	42.0	42.0	0.47	0.47	0.48	4.33	4.33	4.35
45	42.0	42.0	42.0	0.47	0.46	0.48	4.33	4.33	4.35
60	42.0	42.0	42.0	0.43	0.43	0.45	4.35	4.36	4.36

5. Pardoamiento No Enzimático.

En el Cuadro XV se muestran los resultados obtenidos para el pardoamiento no enzimático durante el almacenamiento, y como se puede ver los valores obtenidos son tan cercanos a cero que podría decirse que no se presentó un deterioro de este tipo.

CUADRO XV
PARDEAMIENTO NO ENZIMATICO ($\times 10^{-3}$)

Tiempo de Almacenamiento (días)	Puró con Sacarosa			Puró c/Az. Inv. y J. de Maiz		
	Temperatura de Almacenamiento					
	25 °C	T.amb.	5 °C	25 °C	T.amb.	5 °C
0	1.6	1.6	1.6	1.1	1.1	1.1
7	1.0	1.0	0.7	0.4	0.4	0.4
15	0.7	0.7	0.4	0.4	0.4	0.2
22	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
30	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0
60	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0

6. Azúcares Reductores Directos y Totales.

Los resultados mostrados en el Cuadro XVI indican que el contenido de azúcares reductores directos en el puré que contenía sacarosa no sufrió una variación significativa durante el almacenamiento a ninguna de las condiciones establecidas. Por el contrario, el puré que contenía la mezcla de azúcar invertido y jarabe de maíz presentó una disminución en el contenido de azúcares reductores directos con respecto a los iniciales a las tres condiciones propuestas.

Los azúcares reductores totales en ambos purés se mantuvieron constantes a lo largo del almacenamiento.

CUADRO XVI

% DE AZUCARES REDUCTORES DIRECTOS Y TOTALES (b.s.)

Tiempo de Almacenamiento (días)	REDUCTORES DIRECTOS			REDUCTORES TOTALES		
	Temperatura de Almacenamiento					
	25 °C	T.amb.	5 °C	25 °C	T.amb.	5 °C
Puré con Sacarosa						
0	3.7	3.7	3.7	41.7	41.7	41.7
7	4.3	3.4	3.7	39.0	39.0	50.4
15	4.2	4.0	3.9	40.0	40.4	42.6
22	4.2	4.1	3.8	44.7	48.3	43.3
30	5.9	4.4	4.3	44.2	50.0	43.7
60	5.6	4.8	6.2	42.3	52.6	44.6
Puré con Az. Inv. y Jarabe de Malz						
0	44.0	44.0	44.0	37.8	37.8	37.8
7	33.7	27.9	34.1	29.8	35.8	33.8
15	37.8	28.6	33.7	49.8	42.7	40.3
22	36.7	28.4	34.4	45.2	43.9	39.8
30	38.3	28.2	33.1	45.5	44.8	42.0
60	39.4	20.5	28.5	45.9	43.4	41.5

7. Acido Ascórbico.

Se midió la concentración de Acido ascórbico en ambos purés elaborados y se determinó que ésta era nula, probablemente debido a pérdidas por solubilización y por tratamiento térmico durante el escaldado del plátano. Además, se sabe que el Acido ascórbico es un compuesto que se oxida fácilmente y no se utilizó ningún compuesto que evitara dicha oxidación.

8. Anhídrido Sulfuroso y Color.

El Cuadro XVII muestra la variación entre el contenido inicial de dióxido de azufre y la concentración encontrada después del almacenamiento, así como las variaciones que se presentaron en el color.

En todos los casos, la concentración de dióxido de azufre disminuyó casi en un 70 %, observándose que con un almacenamiento a temperaturas más elevadas se presenta un desprendimiento mayor de dióxido de azufre que a bajas temperaturas.

En lo referente al color, en todos los casos, éste se fue haciendo más claro al principio del almacenamiento debido a las altas concentraciones de dióxido de azufre. Al finalizar el almacenamiento el color se hizo más oscuro debido a que la concentración de dióxido de azufre había disminuido en gran medida.

CUADRO XVII
DIOXIDO DE AZUFRE Y COLOR

Tiempo de Almacenamiento (días)	Dióxido de Azufre (ppm en b.s.)					
	Puré con Sacarosa			Puré c/Az. Inv. y J. de Maíz		
	Temperatura de Almacenamiento					
	25 °C	T.amb.	5 °C	25 °C	T.amb.	5 °C
0	976	976	976	1335	1335	1335
7	973	958	969	1334	1335	1335
22	310	305	320	463	473	565
30	272	287	315	447	454	527
45	267	261	311	447	434	512
60	259	251	286	329	371	452
	Color					
0	40	40	40	50.5	50.5	50.5
7	42	40	39	53	51	50
15	42	39	43	53	50	54
22	46	45	41	58	56	53
30	48	45	41	61	56	53
45	48	46	44	59	56	53
60	43	41	36	50	51	51

9. Sorbato De Potasio.

Las variaciones entre el contenido de sorbato de potasio inicial y el de los productos al final del almacenamiento se muestran en el Cuadro XVIII. Puede observarse que en todos los casos hubo cierta degradación del sorbato de potasio, aunque la concentración final siguió siendo relativamente alta.

CUADRO XVIII

SORBATO DE POTASIO (ppm en b.s.)

Tiempo de Almacenamiento (días)	Puré con Sacarosa			Puré c/Az. Inv. v J. de Maíz		
	Temperatura de Almacenamiento					
	25 °C	T.amb.	5 °C	25 °C	T.amb.	5 °C
0	225	225	225	269	269	269
60	214	173	189	239	204	220

10. Viscosidad.

De acuerdo a los valores mostrados en el Cuadro XIX puede observarse que la viscosidad para ambos purés disminuye conforme aumenta el gradiente de corte (D), comportamiento que se define como pseudoplástico.

CUADRO XIX

COMPORTAMIENTO REOLOGICO

	rpm	a	Viscosidad (cp)	D	γ
Puré con Sacarosa	0	0	0	0	0
	1	2.9	40,368	0.89	35.96
	2	3.5	24,360	1.78	43.40
	4	3.7	12,876	3.56	45.88
	8	4.0	6,960	7.12	49.60
	16	4.3	3,741	14.24	53.32
	32	5.1	2,219	28.48	63.24
	64	5.4	1,175	56.96	66.96
	128	6.6	718	113.92	81.84
	256	8.8	479	227.84	109.12
	512	11.1	302	455.68	137.64
	Puré c/Az. Inv. y Jarabe de Maíz	0	0	0	0
1		2.4	33,408	0.89	29.76
2		3.2	22,272	1.78	39.68
4		3.7	12,876	3.56	45.88
8		4.2	7,308	7.12	52.08
16		4.6	4,002	14.24	57.04
32		4.9	2,132	28.48	60.08
64		5.6	1,218	56.96	69.44
128		6.6	718	113.92	81.84
256		8.2	446	227.84	101.68
512		10.4	283	455.68	128.96

Generalmente, las curvas de flujo dan líneas rectas cuando son graficadas en papel logarítmico (Figuras 12 y 13) y puedan definirse mediante la siguiente ecuación (31):

$$\tau = K D^n$$

en donde τ = esfuerzo de corte
 D = gradiente de corte
 K = índice de consistencia fluida
 n = índice de flujo (es una medida del grado de desviación del comportamiento newtoniano)

Obteniendo la pendiente (equivalente a n) de las gráficas antes mencionadas, encontramos que los valores para el puré con sacarosa y para el puré con azúcar invertido y jarabe de maíz son de 0.18 y 0.22 respectivamente, lo cual indica una desviación significativa del comportamiento newtoniano.

Adicionalmente, las gráficas mostradas en las Figuras 14 a 19 indican que durante cada ciclo (0 - 500 y 500 - 0 rpm) se favorece ligeramente el rompimiento de la estructura, observándose un ligero decremento en el esfuerzo de corte a un gradiente de corte constante.

11. Análisis Microbiológicos.

Tanto en la determinación de cuenta total como en las de hongos y levaduras, el crecimiento fue negativo, lo cual probablemente se deba a la combinación de los siguientes factores: reducción de pH y Aw, escaldado y adición de conservadores que imposibilitan el desarrollo microbiano.

12. Evaluación Sensorial de los Purés.

Tanto para la evaluación del panqué como para el yogurt se emplearon 30 jueces no entronados, obteniéndose los resultados mostrados en el siguiente Cuadro:

CUADRO XX
 EVALUACION SENSORIAL

Puré de Plátano	Calificación Total	
	Yogurt	Panqué
40 % Sacarosa	49	93
40 % Az. Invertido	85	96
Az. Inv./Sacarosa (20:20)	56	88
Az. Inv./J. Maíz (20:20)	110	76

FIGURA 12. CURVA DE FLUJO PARA EL PURE CON SACAROSA.

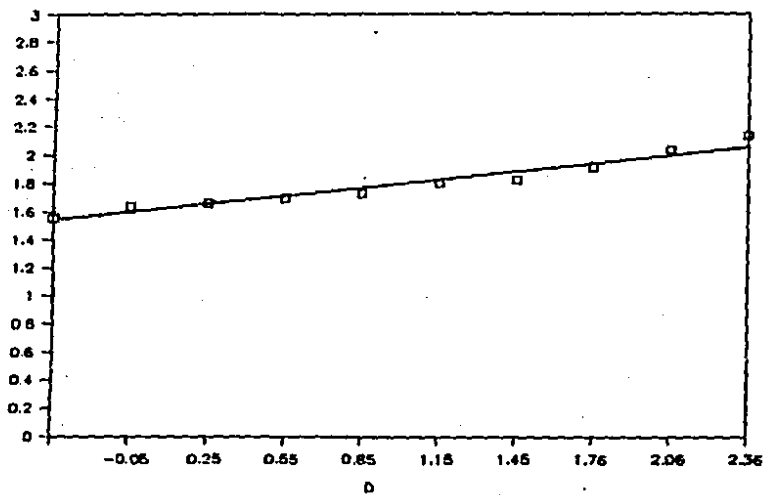


FIGURA 13. CURVA DE FLUJO PARA EL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ.

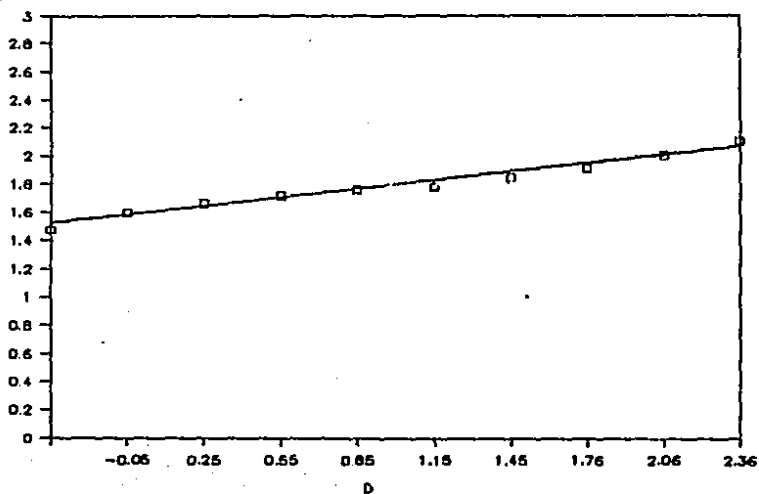


FIGURA 14. COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON SACAROSA ALMACENADO A 25°C.

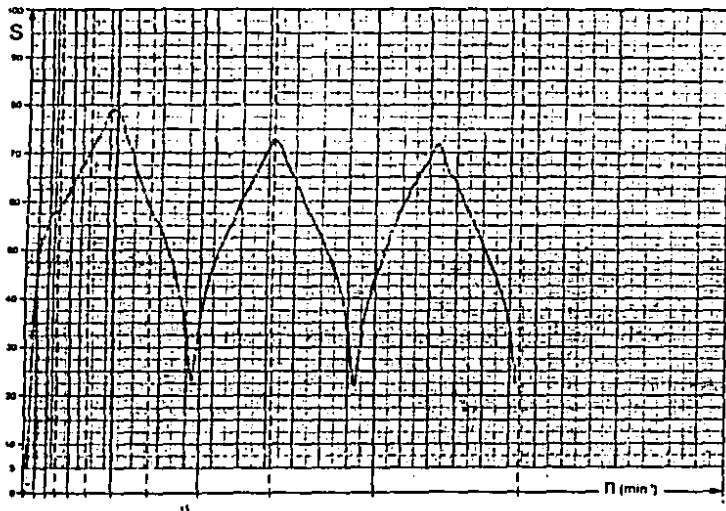


FIGURA 15. COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON SACAROSA ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE.

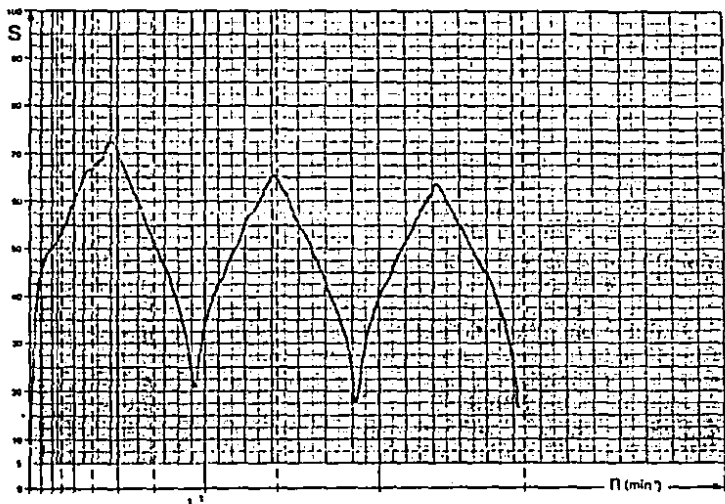


FIGURA 16. COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON SACAROSA ALMACENADO A 50°C.

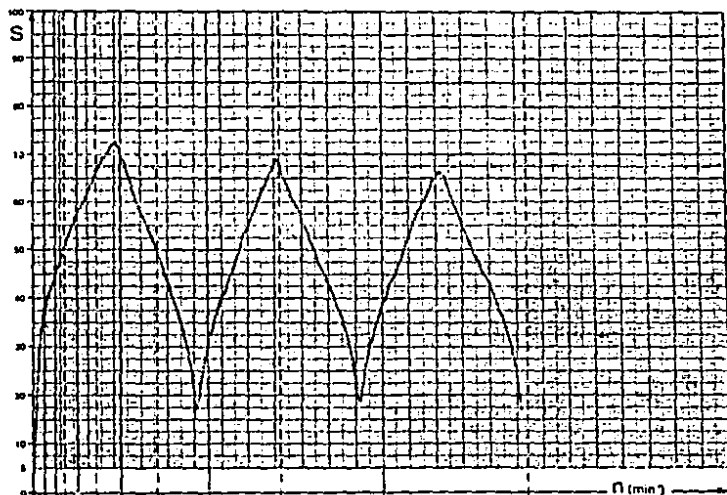


FIGURA 17. COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ ALMACENADO A 25°C.

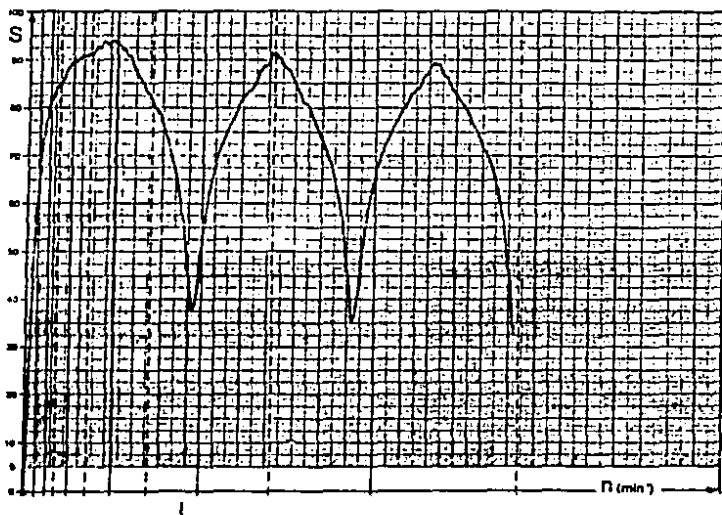


FIGURA 18. COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MAIZ ALMACENADO A TEMPERATURA AMBIENTE.

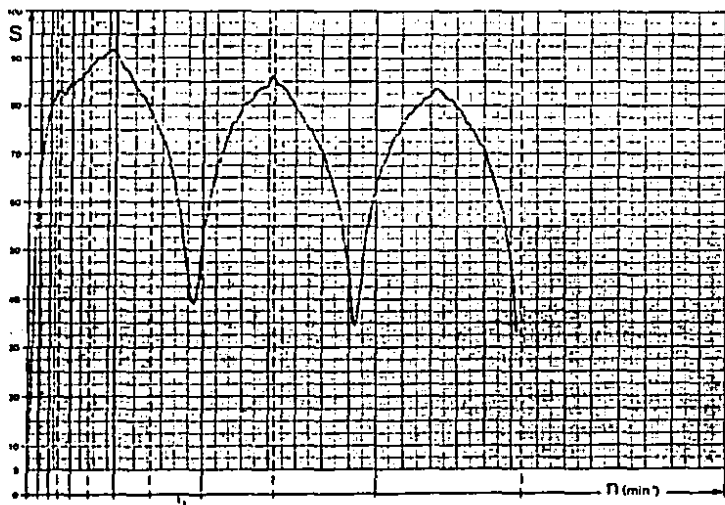
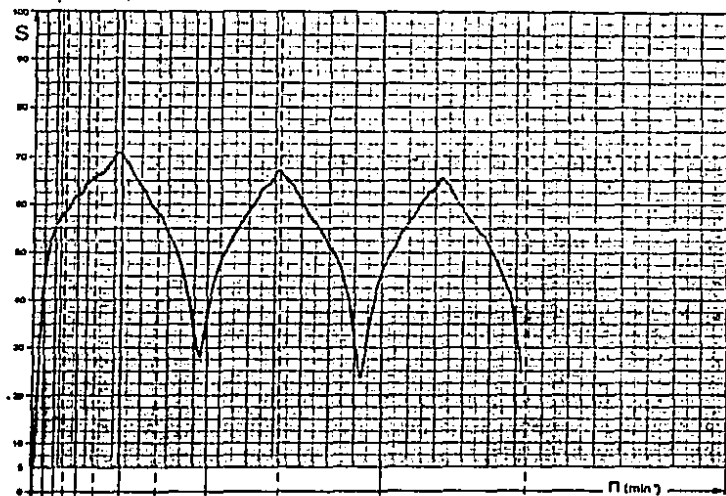


FIGURA 19. COMPORTAMIENTO REOLOGICO DEL PURE CON AZUCAR INVERTIDO Y JARABE DE MATZ ALMACENADO A 50C.



CUADRO XXI

AMPLITUD REQUERIDA PARA UNA SIGNIFICANCIA A NIVELES
DEL 5 % (P = 0.05) (32)

NÚMERO DE REPLICAS	NÚMERO DE TRATAMIENTOS O MUESTRAS EVALUADAS											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2	-	-	-	3-9	3-11	3-13	4-14	4-16	4-18	5-19	5-21	
3	-	4-8	4-11	4-14	4-17	4-20	4-23	5-25	5-28	5-31	5-34	
4	-	5-11	5-15	6-18	6-22	7-25	7-29	8-32	8-36	9-39	9-47	
5	-	5-11	6-14	7-17	8-20	9-23	10-26	11-29	13-31	14-34	15-37	
6	0-9	6-14	7-18	8-22	9-26	9-31	10-35	11-39	12-43	12-48	15-52	
7	7-11	7-13	8-17	10-20	11-24	13-27	14-31	15-35	17-38	14-42	20-45	
8	7-11	8-16	9-21	10-26	11-31	12-36	13-41	14-46	15-51	17-55	18-60	
9	8-13	9-15	10-20	12-24	14-28	16-32	18-36	19-41	21-45	23-49	25-53	
10	8-13	10-18	11-24	12-30	14-35	15-41	17-46	18-52	19-58	21-63	22-69	
11	9-15	10-18	13-22	15-27	17-32	19-37	21-42	23-47	26-51	28-56	30-61	
12	10-14	11-21	13-27	15-33	17-39	18-46	20-52	22-58	24-64	25-71	27-77	
13	11-16	12-20	15-25	17-31	20-36	22-42	25-47	27-53	30-58	33-63	33-69	
14	11-16	13-23	15-30	17-37	19-44	21-51	24-57	25-65	28-71	30-78	32-83	
15	11-16	14-22	17-28	20-34	23-40	26-46	28-53	31-59	34-65	37-71	40-77	
16	12-18	14-26	17-33	20-40	22-48	25-55	27-63	29-71	32-78	34-86	36-94	
17	12-18	15-25	19-31	22-38	25-45	20-51	32-58	35-65	39-71	42-78	45-85	
18	13-20	16-28	19-36	22-44	25-52	28-60	31-68	33-77	36-85	39-93	41-102	
19	14-19	17-27	21-34	24-42	28-49	32-56	36-63	39-71	47-78	47-85	50-93	
20	15-21	18-30	21-39	24-48	28-56	31-65	34-74	37-83	40-92	43-101	46-110	
21	15-21	19-29	23-37	27-45	31-53	35-61	39-69	43-77	47-85	51-93	55-101	

Se observó que la calificación total para cada una de las evaluaciones caía dentro del rango de valores máximo y mínimo aceptables para que los resultados fueran confiables, de acuerdo al Cuadro XXI.

La calificación total con valor más pequeño indica una mayor aceptación o agrado del producto, mientras que un valor más grande indica menor aceptación o agrado.

Puede observarse que los resultados para el yogurt y el panqué fueron opuestos, ya que el puré que fue más aceptado en el yogurt fue el menos aceptado en el panqué y vice versa. Esto puede deberse a las características que impartía cada uno de los humectantes, en lo referente a color, sabor y aspecto en general.

IV. CONCLUSIONES

Se pudo demostrar, al cabo del experimento, que después de un almacenamiento de los purés durante dos meses, bajo diferentes condiciones de temperatura y humedad relativa, éstos seguían conservando las mismas características físicoquímicas que tenían los productos recién elaborados.

Se obtuvieron productos con Aw más bajas que las del plátano fresco, lo que los hace estables al ataque microbiano, presentándose este fenómeno tanto en el puré tratado con sacarosa como en el que contenía azúcar invertido y jaraba de maíz, lo cual indica que estos compuestos pueden ser utilizados indistintamente.

La conservación de alimentos por métodos combinados puede ser una alternativa para el aprovechamiento e industrialización de alimentos no convencionales, como el plátano, debido a las grandes ventajas que presenta su aplicación. Esto se debe a que es posible obtener productos muy similares a los alimentos no procesados (frescos), en lo referente a su sabor, olor, color, consistencia y apariencia en general.

Los purés de frutas pueden ser elaborados en la industria como base para la fabricación de productos como helados, panqués, yogurt, relleno para pie, bebidas, etc.

V. BIBLIOGRAFIA

1. Jayaraman, K.S.; Ramanuja, H.N.; Bhatia, B.S.; Nath, H. 1974. Some Studies on the Preparation of Intermediate Moisture Guava. J. Fd. Sc. & Tech. 11:162-165.
2. Champion, J. El Plátano. Ed. Blume. España, 1978.
3. Hulme, A.C. Biochemistry of Fruits and their Products. Academic Press. U.S., 1971.
4. Salunke, D.K.; Desai, B.B. Postharvest Biotechnology of Fruits. Vol. I CRC Press, Inc. Florida, 1984.
5. Jacobs, H.B. The Chemistry and Technology of Food and Food Products. Interscience Publishers, Inc. Vol. 2. 2a ed. U.S., 1951.
6. Tamayo, D. Tratado de Fruticultura. Ed. Gustavo Gili, S.A. España, 1968.
7. Rockland, L.B.; Benchat, L.R. Water Activity: Theory and Applications to Food. IFT Basic Symposium Series. Ed. Marcel Dekker, Inc. U.S., 1987.
8. 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.
9. Labuza, T.P. Moisture Sorption: Practical Aspects of Isotherm Measurement and Use. American Association of Cereal Chemists. U.S., 1984.
10. Troller, J.A.; Christian, J.H.B. Water Activity in Food. Academic Press, Inc. U.S., 1978.
11. Scott, W.J. 1957. Water Relations of Food Spoilage Microorganisms. Adv. Fd. Res. 7:83.
12. Silliker, J.H.; Elliot, R.P.; Baird-Parker, A.C.; Bryan, F.L.; Christian, J.H.B.; Clark, D.S.; Olson, J.C.; Roberts, T.A. Ecología Microbiana de los Alimentos. International Commission on Microbiological Specifications for Foods. Vol. I. Ed. Acribia. España, 1980.
13. Sparbar, W. 1983. Influence of Water Activity on Foodborne Bacteria. Reviev. J. Fd. Protect. 46:142.
14. Christian, J.H.B.; Stewart, B.J. The Microbiological Safety of Food. Academic Press, Inc. U.S., 1973.
15. Gould, G.W.; Brown, M.H.; Fletcher, B.C. Mechanisms of Action of Food Preservation Procedures. En Food Microbiology. Advances and Prospects. Academic Press: N.Y., 1983.
16. Hossel, D.A.A. Water and Microorganisms in Foods - A Synthesis. En Water Relations of Foods. Academic Press. N.Y., 1976.

17. Gerschenson, L.M.; Alzamora, S.M.; Chirifa, J. 1986. Stability of Sorbic Acid in Model Food Systems of Reduced Water Activity; Sugar Solutions. *J. Fd. Sc.* 51 (4):1028-1031.
18. Ingram, M.; Ottovay, F.J.H.; Coppock, J.B.M. 1956. The Preservative Action of Acid Substances in Foods. *Chem. Ind.* 42:1154.
19. Hammond, S.M.; Carr, J.C. The Antimicrobial Activity of Sulphur Dioxide. *Society of Applied Bacteriology. Symposia Series, No. 5.* Academic Press. N.Y., 1976.
20. Roberts, A.C.; Mc Wenny, D.J. 1972. The Uses of Sulphur Dioxide in the Food Industry. *J. Fd. Tech.* 7:221.
21. Lastreto, C.; Viquez, F.; Arias, L.F. Productos Elaborados a Base de Banano para Consumo Humano. Revisión de Literatura. Avance No. 5. Centro de Investigaciones en Tecnología de Alimentos. San José de Costa Rica, 1984.
22. Díaz Delgado, D.; Villalobos Cruz, M.; Alvarado de Monzón, D. Manual para el Procesamiento y Conservación de Pulpas de Algunas Frutas Tropicales por Métodos Químicos. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. Bogotá, Colombia.
23. García, R.; de Arriola, M.C.; de Porras, E.; Rolz, C. 1985. Process for Banana Pures Preservation at Rural Level. *Lebensm. Wiss. Technol.* 18:323-327.
24. Chirife, J.; Ferro-Fontán, C.; Benmergui, E.A. 1980. The Prediction of Water Activity in Aqueous Solutions in Connection with Intermediate Moisture Foods. IV. Water Activity Prediction in Aqueous Non-Electrolyte Solutions. *J. Fd. Tech.* 15:159.
25. Brekke, J.E.; Allen, L. 1967. Dehydrated Bananas. *Fd. Tech.* 21 (10):101-105.
26. Manual de Técnicas del Laboratorio para el Análisis de Alimentos. Departamento de Ciencia y Tecnología de Alimentos. INNSZ. Publicación L-6Z. México, 1984.
27. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. 13 th ed., 1980.
28. De Vries, J.W.; Go, H.; Ebert, F.J.; Magnuson, J.N.; Ogawa, M.K. 1986. Analysis for Total Sulfite in Foods by Using Rapid Distillation Followed by Redox Titration. *J. Assoc. Anal. Chem.* 69 (5):69-73.
29. Nury, F.S.; Bolin, H.R. Colorimetric Assay for Potassium Sorbate in Dried Fruits. California, 1962.
30. Manual de Laboratorio de Microbiología Sanitaria. Depto. de Microbiología. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, IPN. México, 1983.

31. Perry, R.H.; Chilton, C.H. Chemical Engineer's Handbook. 5a ed. Ed. Mc Gray Hill. U.S., 1973.
32. Kramer, A. 1960. A Rapid Method for Determining Significance of Differences from Rank Sums. *Fd. Tech.* 14:376-381.
33. DGEA. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. Desde 1977 hasta 1983. SARI.
34. Ramanuja, M.N.; Jayaraman, K.S. 1980. Studies on the Preparation and Storage Stability of Intermediate Moisture Banana. *J. Fd. Sc. & Tech.* 17 (4):183-186.
35. Levi, A.; Ramirez-Martínez, J.R.; Padua, H. 1980. Influences of Heat and Sulphur Dioxide Treatments on Some Quality Characteristics of Intermediate Moisture Banana. *J. Fd. Tech.* 15:557-586.
36. Arroyo, E. 1980. Proceso de Obtención de Puré de Plátano. *Industria Alimentaria.* 2 (1):6-9.
37. Haendler, L. 1966. Productos de Transformación del Banano. *Fruits.* 21 (7):320-342.
38. Ponting, J.D.; Watters, G.G.; Forrey, R.R.; Jackson, R.; Stanley, W.L. 1966. Osmotic Dehydration of Fruits. *Fd. Tech.* 20 (10):125-128.
39. Bolin, H.R.; Huxsoll, R.; Jackson, R.; Ng, K.C. 1983. Effect of Osmotic Agents and Concentrations on Fruit Quality. *J. Fd. Sc.* 40:202-205.
40. Bongirwar, D.R.; Sreenivasan, A. 1977. Studies on Osmotic Dehydration of Banana. *J. Fd. Sc. & Tech.* 14 (3):104-112.
41. Brekke, J.E.; Ponting, J.D. Osmovac Dried Bananas. Research Report No. 182. College of Tropical Agriculture, University of Hawaii, 1970.
42. Jayaraman, K.S.; Ramanuja, M.N.; Vemigopal, M.K.; Leela, R.K.; Bhatia, B.S. 1975. Studies on the Preparation of Intermediate Moisture Pineapple. *J. Fd. Sc. & Tech.* 12:309-312.
43. Ponting, J.D. 1973. Osmotic Dehydration of Fruits - Recent Modifications and Applications. *Process Biochemistry.* 12:18-20.
44. Lerici, C.R.; Pinnavaia, G.; Dalla Rosa, M.; Bartolucci, L. 1985. Osmotic Dehydration of Fruit: Influence of Osmotic Agents on Drying Behavior and Product Quality. *J. Fd. Sc.* 50:1217-1219.
45. Singh, R.K.; Lund, D.B.; Buelow, F.H. 1983. Storage Stability of Intermediate Moisture Apples: Kinetics of Quality Change. *J. Fd. Sc.* 48:939-944.
46. Sankaran, R.; Leela, R.K. 1979. Survival of Microorganisms in Intermediate Moisture Foods. *J. Fd. Sc. & Tech.* 16:100-102.

47. Ramirez-Martinez, J.R.; Levi, A.; Padua, H.; Bakal, A. Astringency in an Intermediate Moisture Banana Product. Centro de Investigaciones del Estado para la Producción Experimental Agroindustrial. Venezuela, 1975.
48. Levi, A.; Gagel, S.; Juven, B. 1983. Intermediate Moisture Tropical Fruit Products for Developing Countries. I. Technological Data on Papaya. J. Fd. Tech. 18 (8):667-685.
49. Levi, A.; Gagel, S.; Juven, B. 1985. Intermediate Moisture Tropical Fruit Products for Developing Countries. II. Quality Characteristics of Papaya. J. Fd. Tech. 20 (2):163-175.
50. Kay, D. Banana Products. Vol. G-32, Part I. Tropical Products Institute Report. London, 1967.
51. Hanson, L.P. Commercial Processing of Fruits. Fd. Tech. Review No. 30. Noyes Data Corporation. U.S., 1976.
52. Wilson, R.J. The International Market for Banana Products for Food Use. Tropical Products Institute. London, 1975.
53. Anon. 1983. Production of Banana Pulp and its Use in the Manufacture of Food Products. Confectionery Manufacture and Marketing. 20 (2):18.