

5  
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN

“DETERMINACION DEL EFECTO DE LA  
DESCONGELACION DE BROCOLI EN ENVASE  
PLASTICO”

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN ALIMENTOS  
P R E S E N T A :

ALEJANDRO DIAZ ACOSTA

DIRECTOR DE TESIS:  
DR. JOSE LUIS ARJONA ROMAN



CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1990



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

CAPITULO	Páginas
INTRODUCCION	1
OBJETIVOS	5
I.- GENERALIDADES	7
I.1.- COMPOSICION Y VARIEDADES DEL BROCOLI	7
I.2.- PRODUCCION NACIONAL Y EXPORTACION	11
I.3.- MECANISMOS DE CONSERVACION	15
I.4.- TRANSFERENCIA TERMICA	26
I.5.- CARACTERISTICAS DEL ENVASE	31
II.- METODOLOGIA EXPERIMENTAL	34
II.1.- DESARROLLO DE CONDICIONES PRELIMINARES	36
II.2.- ESTUDIO DE DESCONGELACION	39
II.3.- TECNICAS DE CONTROL	44
II.4.- TRANSFERENCIA TERMICA	52
III.- ANALISIS DE RESULTADOS	54
III.1.- COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA DESCONGELACION DE BROCOLI	55
III.2.- DESCONGELACION CON ENVASE	57
III.3.- DESCONGELACION SIN ENVASE	60
III.4.- COMPORTAMIENTO DE PROPIEDADES	63
III.4.1.- COLOR	63
III.4.2.- ACEPTABILIDAD	65
III.4.3.- CLOROFILA	68
III.4.4.- TEXTURA	70
CONCLUSIONES	74
BIBLIOGRAFIA	80

## **I N T R O D U C C I O N**

El brócoli es uno de los diversos productos hortofrutícolas que experimentan una serie de cambios posteriores a su cosecha, ya que como es sabido, los alimentos pueden considerarse básicamente como sistemas químicos de gran complejidad y por ende de elevada inestabilidad, capaces de sufrir diversos tipos de reacciones de degradación. De ésta manera podemos señalar que el manejo durante la cosecha y post-cosecha es importante, debido a que se ha observado que los productos en estado fresco llegan a sufrir cambios fisiológicos que suelen suscitarse por tratarse de un organismo vivo, que presenta una actividad enzimática con la consecuente formación y síntesis de sustancias así como, una actividad respiratoria que provoca pérdidas de humedad por efecto de la transpiración sin descartar también los daños ocasionados por el ataque de microorganismos o daños de tipo mecánico. - ( 7, 15, 31 ).

Todos los factores antes mencionados producen una alteración definida que recaé en una pérdida parcial ó total de sus características de aceptabilidad. Las bajas temperaturas reducen la velocidad de éstas reacciones, es decir, la conservación por congelación de productos hortofrutícolas ofrece una gran alternativa de consumo inmediato ó a largo plazo en el país, así como la comercialización hacia mercados más distantes - exportación.- Es evidente que para que dichos productos puedan ser consumidos y/o preparados en sus diferentes formas, se requiere la descongelación y en ésta operación se ha observado que los productos alimenticios llegan a sufrir un deterioro en la calidad del producto; principalmente en los productos hortofrutícolas se ven afectados en su textura y en la pérdida de nutrientes fundamentalmente vitaminas y minerales, originado por el arrastre de sus sustancias solubles en el agua a consecuencia del rompimiento de las membranas celulares causadas tanto por el calentamiento de los tejidos como de la formación de cristales grandes de hielo -

al emplearse velocidades de congelación lentas. (6, 14, 27).

Dado que el aumento de la temperatura del producto, es fundamental para que se lleve a cabo el proceso de descongelación; ésta operación será estudiada desde el punto de vista de transferencia de calor, considerando, por una parte, los parámetros que influyen durante el proceso, tales como: Capacidad calorífica -- (Cp), densidad (  $\rho$  ), difusividad térmica (  $\alpha$  ), conductividad -- térmica ( K ), del producto y del medio.

Y por otra parte, en virtud de que el efecto de la temperatura en la descongelación, influye en la calidad del producto -- es menester determinar dicho efecto, en la cual se utilizará un envase de polietileno como una resistencia adicional a la interacción directa entre la temperatura del medio de descongelación y el producto contenido, al contar con una conductividad térmica y espesor definidos analizando de ésta manera, la viabilidad de su utilización aplicando entre las técnicas de control la percepción humana como una medida de estimación de calidad de atributos, destacando entre éstos el color y textura.

Así, en el presente trabajo, se definirá el proceso de la descongelación en particular la del brócoli determinando el efecto que llegan a sufrir los productos al ser sometidos a una descongelación con agua a diferentes temperaturas con variantes -- como la aplicación del uso ó no del envase de polietileno durante la descongelación y el periodo de almacenamiento previo a su proceso que determinen los daños en sus atributos de calidad de tal manera que sean tomados en consideración para experimentaciones posteriores y para el beneficio actual de la Industria de congelación de Brócoli.

Se hace hincapié que en el estudio de la descongelación --

escasamente se encontraron reportes técnicos de sus efectos en los productos alimenticios; ampliándose el interés de nuestros objetivos, intentando plantear una metodología con enfoque práctico en éste orden de sistemas.

## OBJETIVOS

**OBJETIVO GENERAL :**

Determinar posterior a la descongelación el efecto de la temperatura sobre los atributos de calidad de brócoli en vasado en polietileno.

**OBJETIVOS PARTICULARES :**

- Evaluar la influencia del período de almacenamiento en la variación de atributos de calidad de brócoli descongelado tanto con envase como sin envase.
- Establecer los límites de aplicación utilizando como parámetro de control la medición de textura en brócoli, mediante el uso de un electrocardiógrafo.
- Definir en base a la retención de atributos de calidad - específica las condiciones más convenientes del uso ó no del envase de polietileno en la descongelación de brócoli.

## I.- GENERALIDADES.-

El brócoli (*Brassica Oleraceae* var. *Itálica* Plenck) pertenece a la familia de las Crucíferas subclase Archichlamydae y a la Dicotiledónea, es una flor de planta comunmente conocida como "cabeza ó cabezuela " la cuál es carnosa y remificada sobre un tallo elongado. Además de la cabeza terminal aparecen pequeñas cabezas en las axilas de las hojas; por el color se pueden distinguir tres tipos de brócoli, verde blanca y morada, todas las partes son comestibles en estado tierno ( 37 ).

El brócoli se considera originario de la Europa Meridional y Asia Menor. proveniente tal vez de una col o repollo silvestre común en las costas Europeas; algunas formas ancestrales de las variedades modernas fuéron seleccionadas en Italia, siendo Las brócolis Europeas diferentes a las que se cultivan en México. (37).

### I.1.- COMPOSICION Y VARIEDADES DE BROCOLI :

En nuestro país el brócoli es cultivado en varios estados de la República desarrollandose en regiones con clima relativamente fresco y húmedos, con suelos ricos en materia orgánica. Las condiciones ecológicas de cada región son diferentes, por tanto la composición de los elementos que lo conforman varía de una región a otra, pero dentro de la importancia que la caracteriza es su alto contenido de vitamina "C" siendo en promedio de 110 mg por cada 100 gms de producto fresco comestible ( 37 ).

En el cuadro N°1, podemos observar la composición media del brócoli.

## CUADRO N° 1

---

 COMPOSICION MEDIA POR  
 100 GMS.
 

---

COMPONENTES	CANTIDAD	
PROMEDIO ENERGETICO	23	gr
AGUA	90	gr
PROTEINAS	3.6	gr
GRASA	0.3	gr
AZUCAR TOTAL	1.6	gr
OTROS CHOS	0.4	gr
VITAMINAS		
"A"	3,800	U.I.
TIAMINA	0.11	mlg
RIBOFLAVINA	0.10	mlg
"C"	110	mlg
MINERALES.		
Ca.	78	mlg
Fe	1	mlg
Mg	39	mlg
P	79	mlg
K	360	mlg
Ma	40	mlg

---

Fuente : Producción y Comercialización de Brócoli (U.N.A.M. (37)

Además de los elementos anteriores contiene componentes volátiles que contribuyen al aroma y sabor, entre estos se consideran - Dimetilsulfido y tremetilsulfido, 2, 4 y 5, tritio hexano, 4 metil trobutil.2 - teniletil isoticionato, 4 - metil tiobutilcianido, - 2 - teniletilcianido y un número de aldehído aromáticos, alifáticos incluyendo nonanal y fenillacetaldehído (28).

Dentro de la familia a la que pertenece el brócoli se han clasificado ocho variedades las cuales se diferencian en su forma morfológica (tallo, ramificaciones y cabezuela) (37), que suelen darse de variedad a otra, además de las diferentes épocas de siembra así como en el terreno en el que es cultivado (37). En el cuadro N° 2 se muestran las ocho variedades de brócoli de acuerdo a su clase y a los días a la madurez en el que se lleva a cabo la cosecha, tomando en cuenta para ello, el porcentaje del tamaño y del número de botones que tiene cada cabeza de brócoli.

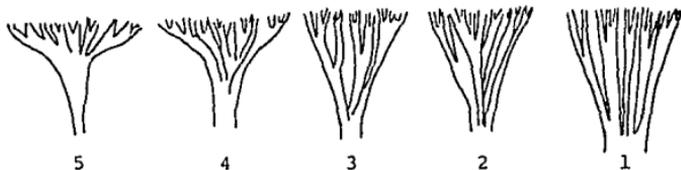
En el esquema siguiente se puede observar las diferentes proporciones del número de botones fig. 1.a, como las ramificaciones fig. 1.b., por las que pasa el brócoli hasta su estado de madurez siendo importante para que se lleve a cabo la cosecha e itar la - florecencia de las cabezas.



Fig. 1.a.

5 4 3 2 1

En este esquema se presenta una clasificación práctica en una graduación de 1 a 5 y en la que al N°5, corresponde el total de botones del mismo tamaño, al 4, el 75 % y al 3, 50 % el 2 de 25% y el 1 son menos de 25 %.



5 4 3 2 1

Fig. 1.b.

CUADRO N° 2

---

 VARIEDADES DEL BROCOLI
 

---

VARIEDADES	CLASE	DIAS A LA MADUREZ	
DE CICCO	PRECOZ	60	( p )
		130	( o )
GLEEN MOUNTAIN	PRECOZ	60	( p )
		130	( o )
PACIFICA	MEDIA	94	( v )
		170	( o )
REX HIBRIDA	MEDIA	85	( v )
		145	( o )
TOPPER 43	INTERMEDIA	80	( p )
WALTHAN 23	INTERMEDIA	80	( p )
MEDIUM LATE 145	TARDIA	110	( p )
MEDIUM LATE	TARDIA	110	( p )

( p ) Siembra de Primavera.

( o ) Siembra de Octubre.

( v ) Siembra de Verano.

---

Fuente : Producción y Comercialización del Brócoli (U.N.A.M.) (37)

## I.2.- PRODUCCION NACIONAL Y EXPORTACION.

11

El brócoli es cultivado en varios Estados de la República Mexicana. En el cuadro N°3, se muestran los principales productores de brócoli, con el rendimiento en TON/HA que han tenido en los diferentes años en el intervalo de 1979 a 1984.

CUADRO N°3  
PRODUCCION POR ESTADOS

(RENDIMIENTO TON/HA)							
ENTIDAD	AÑOS	1979	1980	1981	1982	1983	1984
Aguascalientes		1300	2323	1000	5117	2362	1436
Baja California N			143	984		189	1428
Coahuila						375	994
Guanajuato		5288	1152	7943	4574	12872	24205
Nuevo León			16	25		52	29
Querétaro			410	36	264	115	73
Tamaulipas		598	153		15	7	60
Michoacan		35	42	34	60		1325
Sónora		64					

Fuente : Boletín anual temporada UNPH  
Unión Nacional de Productores de Hortalizas ( 51 ).

Se observa en éste cuadro el estado de Guanajuato ha tenido durante éste período un elevado rendimiento de brócoli (24, 205, TON/HA), en comparación con el resto de los Estados productores; atribuyéndose a esta heterogeneidad al menos en parte a que el cultivo es de temporal y que las condiciones ambientales no siempre favorecen por igual a todas las regiones productoras; en la recopilación de información por parte de la producción Nacional de brócoli. (cuadro N°4,) para el período de 1979 a 1984 se ha tenido un incremento en su volumen de producción de un 400 %.

CUADRO N° 4

## PRODUCCION NACIONAL DE BROCOLI

1979 - 1984

---

AÑO	SUP. COSECHADA ( HAS )	RENDIMIENTO (TON/HA)	VOL. DE PRODUCCION (TON)	VALOR PRODUCCION ( PESOS )
1979	637	11,279	7,185	
1980	566	7,489	4,239	22,759,000
1981	824	12,180	10,036	60,437,000
1982	814	12,321	10,030	104,964,293
1983	1457	10,921	15,912	218,715,017
1984			29,535	840,513,000

---

FUENTE : DGE. Dirección General de Estadística, S.P.P.

DGEA. Dirección General de Economía Agrícola, S.A.R.H. (52, 53)

En otro contexto, la importancia de éste cultivo se manifiesta en la información recopilada por la DGE ( 52 ) y la DGA ( 53 ), para el período de 1979 a 1984, presentando en el cuadro N°4; notándose en éste el incremento en poco más del doble, la superficie cosechada con un rendimiento promedio de 10 TON/DIA y así cuantificando el volumen de producción para 1984. Lo que establece una notoria elevación de la demanda y por tanto el compromiso de que dicha hortaliza sea aprovechada y conservada adecuadamente para su mejor comercialización.

De lo anterior puede difundirse que existe la necesidad de cubrir mayores mercados a la vez que para los productores de brócoli de competir con éxito en diversos centros de consumo Nacionales e Internacionales, logrando en este último caso, la introducción de divisas a nuestro país, ya que éste producto en un 90 % es de exportación.

Para la distribución del producto a los diferentes países consumidores, se requiere entre otros procesos el aplicar la congelación de ésta hortaliza; operación que favorece a que los productos perecederos alcancen una mayor vida de anaquel.

En el cuadro N°5, se observa que la exportación de brócoli, se elevó considerablemente a partir de 1980, la demanda proviene principalmente de Canada y Estados Unidos, lo que reafirma la necesidad de establecer las mejores condiciones de conservación del mismo, para las características, no sólo de éste tipo de mercado de consumo, sino con el propósito de ampliarlo a aquellos más distantes como Europa y Asia.

---

EXPORTACION NACIONAL DE  
BROCOLI

1972                      1984  
TONELADAS

---

AÑO	EXPORTACION
1972	4,799.5
1973	4,722.7
1974	3,693.0
1975	3,193.5
1976	187.5
1977	159.4
1978	49.5
1979	141.0
1980	723.0
1981	1,438.0
1982	582.0
1983	28,314.056
1984	30,692.801

---

FUENTE : Dirección General de Economía Agrícola, S.A.R.H.

Unión Nacional de Productores de Hortalizas.

Dirección General de Estadísticas S.P.P. ( 52 ).

I.3.1.- CONGELACION.

Para el estudio de la descongelación de brócoli, es necesario que el producto se encuentre en estado de congelación por lo cual es importante conocer la influencia en los productos vegetales, - es decir, de este último la congelación es uno de los métodos que ofrece que el producto conserve sus características iniciales, manteniendo al producto en su óptimo estado de consumo. (21)

Dadas las características estructurales de los productos vegetales es menester cuidar el proceso de congelación debido a que por la cantidad de agua que poseen, estos se ven sometidos a un cambio de fase del agua en su interior. Por lo que es necesario conocer - la influencia de éste cambio en la integridad de la estructura de - los tejidos ( 7, 19,23 ).

La mayor parte del agua se encuentra en el interior de las células formando parte de las soluciones del citoplasma y las vacuolas, existiendo en los espacios intercelulares en forma de vapor de agua. La congelación se inicia en el agua de estos espacios, ya - que su punto de congelación es más alto que el de las soluciones - del interior de la célula ( 7 ).

Al congelarse el agua de los espacios intercelulares la presión de vapor de los mismos disminuye y se produce una difusión de agua - del interior de la célula a los cristales de hielo intercelulares. Esto provoca un aumento de la concentración de soluto en las soluciones celulares reduciendo su presión de vapor y su punto de congelación.

Si la velocidad de enfriamiento de los tejidos es suficientemente rápida para que el punto de congelación del líquido celular se alcance antes que su concentración aumente como consecuencia de la difusión de agua a los cristales intercelulares, entonces se producirá la nucleación del hielo en el interior de la célula.

Así la estructura de los tejidos vegetales se modificará en - relación a la velocidad en que se presente la migración de las molé-

culas de agua desde su localización normal a los lugares de cristalización y por el tamaño de los cristales de hielo, produciéndose tensiones internas que causan la rotura de membranas ( 7 ).

Esta velocidad depende paralelamente del tipo de congelación que se esté empleando, así como las características del equipo que sea -- utilizado.

Los productos vegetales pueden ser sometidos sea a una congelación rápida, sea a una congelación lenta; el primer caso es característico de la congelación a través de túneles de congelación o de lecho fluidizado donde el producto presenta una velocidad de disminución de temperatura de 10 a 100 °C/min. con una velocidad de congelación menor a 15 cm/hr. y por consiguiente presenta una baja velocidad de formación de núcleos que serán el centro de los cristales de hielo -- ( 2 ).

La congelación lenta se logra con cámaras de congelación comerciales y congeladores domésticos en donde la velocidad de disminución de temperatura es menor o igual a 2 °C/min. con una velocidad de congelación mayor a 1 cm/hr. éste método favorece el aumento de la velocidad de formación de núcleos y por consiguiente existe un aumento -- del tamaño de cristales de hielo predominando algunas formas alargadas ó de aguja que causan daño a la estructura celular. ( 2 ).

Evidentemente con la congelación rápida los vegetales no sufren un deterioro marcado en el rompimiento celular causado por los cristales de hielo en comparación con la congelación lenta; pero se debe tomar en cuenta que el equipo que ofrece éste método tiene la desventaja de requerir productos de tamaño pequeño o trozado para su congelación, su mantenimiento continuo, elevado costo y si se tiene una baja cantidad de producto a congelar es totalmente incosteable, ( 2 ). en cambio, las cámaras de congelación facilitan la congelación de -- cualquier producto, incluyendo productos envasados, su costo es bajo y su mantenimiento es comparativamente reducido. ( 20 ).

Algunos otros factores deben tomarse en cuenta y que directa ó indirectamente afectan la congelación, como el estado de madurez del producto, especie ó variedad, tamaño, forma, composición, características y daños de tipo mecánico. ( 25 ).

Un factor importante dentro de los productos que van a ser congelados, es el escaldado el cuál es un tratamiento térmico - moderado al que se someten algunas hortalizas como paso previo a su posterior congelación. ( 29 )

Los fines del escaldado son múltiples dentro de los principales efectos que se consiguen son :

- Inhibición de la actividad enzimática.
- Expulsión de los gases respiratorios.
- Reblandecimiento de la estructura celular.
- Reducción de la carga microbiana.
- Agilización de las operaciones preliminares.
- Limpieza adicional.

Dentro de los beneficios que trae consigo el escaldado de productos vegetales, la inactivación enzimática es un factor - sobresaliente dado que ésta en gran parte, genera como resultado los cambios de textura, color, sabor y valor nutricional; podemos señalar que las enzimas involucradas en éste hecho - son : La peroxidasa, catalasa, clorofilasa y polifenoloxidasa entre otras. ( 29, 35, 45 ).

Los métodos básicos de escaldado incluye el sistema vapor y al sistema de agua caliente, sin embargo en la actualidad se han desarrollado sistemas alternativos que incluyen el escaldado con gases calientes y escaldado con microondas (17 ).

Así Porsdal P. ( 35 ) observó el efecto de los 3 diferentes métodos de escaldado en el contenido de vitaminas "C" de - cuatro productos vegetales (espárragos, frijoles, chícharos y maíz (Ver tabla N°4 ), en el que se puede apreciar que el escaldado en inmersión de agua favorece la retención de vitamina "C" de los diferentes productos en comparación con los demás - métodos.

Swartz y Carroad ( 8 ) han demostrado que la recirculación del agua de escaldado reduce la pérdida de vitamina "C", en un 18 % y de clorofila en un 18 a 19 %. Además el escalda-

do del agua presenta una mayor transferencia de calor dentro del producto hasta en un 60 % comparada con el escaldado con vapor, pero así mismo se ha observado que este último disminuye la pérdida de sólidos comparada con el método convencional de agua.

En 1970 Eheart M. ( 15 ) observó que el método de escaldado en agua a 100 °c de brócoli presentó una mayor retención de clorofila a y b del producto en un 55.2 y 54.5 % correspondientemente (ver tabla N°2) en comparación con el escaldado en microondas del 52.6 y 49.8 para la retención del clorofilo a y b.

Con algunos antecedentes técnicos se comprueba que el escaldado en agua favorece la retención de algunos elementos químicos del brócoli lo que da pauta a su utilización; pero cabe mencionar que uno de los elementos importantes que se debe de cuidar durante el escaldado de los productos vegetales, es la relación entre el tiempo y la temperatura para atenuar la pérdida en atributos de calidad, la reducción en el valor nutritivo y asegurar la inactivación enzimática.(44,50). En la tabla N°3, se presenta el tiempo y la temperatura de escaldado para diferentes vegetales, para la inactivación de catalasa y peroxidasa presentes de alguna manera en el brócoli.

TABLA N° 1

19

CONTENIDO DE VITAMINA "C" EN PRODUCTOS  
( MG/100 GR)

METODO DE ESCALDADO	ESPARRAGOS	FRIJOL	CHICHAROS	MAIZ
AGUA	35.7	22.5	15.6	15.8
VAPOR	35.3	23.3	11.0	13.6
MICROONDAS	18.9	13.1	9.3	12.9

POLDASAL P.K. (35 ).

TABLA N° 2

CAMBIOS DE CLOROFILA EN BROCOLI DE ACUERDO AL METODO DE ESCALDA  
DO

METODO DE ESCALDADO	RETENCION CLOROFILA		
	a	b	TOTAL
	%	%	%
AGUA (100°C)	55.2	54.5	53.7
MICROONDAS	52.6	49.8	50.5

EHEART S.M. ( 16 )

TABLA N° 3

---

TIEMPOS DE ESCALDADO DE VEGETALES ANTES DE SU CONGELACION PARA LA INACTIVACION DE CATALASA Y PEROXIDASA.

---

VEGETAL	TIEMPO DE ESCALDADO (MIN) EN AGUA A 100 °c
BROCOLI	2 - 3
MAIZ	2 - 3
CHICHAROS	1 - 1 1/2
ESPINACA	1 1/2

---

KAREL MARCUS ( 23 )

TABLA N° 4

EFECTO DE CONGELACION-DESCONGELACION EN LOS VEGETALES EN  
EL CONTENIDO DE ACIDO ASCORBICO

PRODUCTO	TEMPERATURA DE DESCONGELACION ( °c )	MG/100 DE AC. ASCORBICO DESPUES DE SER EXPUESTO (HRS).				
		0	2	5	24	48
MAIZ	21.1	4.95	3.97	3.65	2.99	2.01
	7.2	5.80	4.45	3.75	2.66	1.85
	1.6	5.34	5.04	4.82	4.62	3.62
EJOTES	21.1	10.11	8.13	8.12	6.72	----
	7.2	10.29	8.92	8.69	6.43	----
	1.6	8.99	7.93	7.38	6.00	----
CHICHAROS	21.1	18.99	17.93	16.79	14.19	12.45
	7.2	17.60	17.77	18.17	16.25	13.51
	1.6	17.45	18.84	18.15	16.90	16.38
PRIJOLES	21.1	21.10	20.19	21.43	15.34	12.96
	7.2	22.20	19.35	20.10	20.61	17.19
	1.6	21.40	21.00	20.61	20.53	18.61

HUCKER ( 1960 ) (22)

TABLA N° 5

---

PORCENTAJE DE LA RETENCION DE CLOROFILA a y b EN EL BRO-  
COLI COCIDO

---

TIEMPO DE COCIDO ( MIN )	TEMP. ( °c )	% RETENCION CLOROFILA		
		CLOROFILA	CLOROFILA a	CLOROFILA b
5	93	82.5	78.7	90.3
10	93	58.9	45.2	86.7
15	93	47.0	35.1	71.2
20	93	31.3	18.4	57.6

---

SWEENEY J.P. (46)

Particularmente la descongelación es la operación inversa a la congelación; durante ésta los alimentos son susceptibles a daños físicos, químicos y microbianos, aunque estos últimos tienen su origen desde el producto en el campo, así en la congelación de vegetales, el ácido ascórbico es uno de los elementos químicos que se ven afectados a lo largo de todo el proceso ( 23). Por lo cual Hucher y Clark ( 22 ), han observado - que esta degradación ocurre en la congelación y descongelación de chícharos, frijoles, ejotes y maíz, situación que se indica en la tabla N°3, en la que la pérdida de ácido ascórbico durante la descongelación puede ser una relación directa con la temperatura, indicando también que el tiempo de descongelación es otro de los factores importantes a considerar; así, a las temperaturas de descongelación de 7.2 a 1.6°C con sus respectivos tiempos de exposición no hay una variación en el contenido inicial de vitamina "C" en comparación con la temperatura de - 21.1°C en donde la degradación se muestra en mayor proporción para los productos anteriormente mencionados

Otro de los aspectos interesantes de estudio de la descongelación, es el cambio de color. Esto es a consecuencia de que los pigmentos clorofílicos de los vegetales experimentan numerosas transformaciones durante el tratamiento térmico, con la degradación de clorofila en donde el color de las verduras tratadas pasa rápidamente del verde brillante al pardo oliváceo - oscuro, ésta degradación de color, se ha atribuido a la transformación de la clorofila en feofitina. Se relaciona la formación de feofitina a partir de la clorofila con la proporción - de ácidos que se producen durante el calentamiento y almacenamiento. ( 4 )

En 1960 Sweeney J.P. ( 46 ) como se señala en la Tabla N° 5, que el porcentaje de la retención de clorofila a y b en el brócoli cocido y en que el tiempo de cocimiento afecta su retención siendo la clorofila "a" el factor responsable de la - pérdida de color en los vegetales verdes cocidos.

Sin embargo en la complejidad del comportamiento de los alimentos no son solamente los cambios de color los que se presentan en los productos vegetales por el efecto de los tratamientos térmicos como el caso de la descongelación, sino, que es de vital importancia tener presente que la estructura celular de los tejidos de los vegetales se desintegran ligeramente por el calor, con el consiguiente aumento de la permeabilidad en las células; por lo tanto los tejidos normalmente tersos llegan hasta la flacidez que afecta característicamente su apariencia comercial; así también desaparece el aire extracelular y vascular durante el proceso de calentamiento, lo que da como resultado un cambio de textura. (11, 36, 43)

En el caso de éste atributo, existe una gran cantidad de variantes difíciles de controlar en el intento de poder ser determinada a través del análisis sensorial por que en él intervienen los sentidos del tacto, vista y oído, influyendo también el del gusto e incluso el del olfato, variantes que así mismo pueden ser determinadas por panelistas adiestrados como catadores del producto. (1,26)

Es por ello que se hace remembranza de los estudios realizados por Pierson ( 1969) y Pierson y La Magnen (1971), en los que se estudió la posibilidad de utilizar las pautas de masticación por registro electromiográfico de los movimientos del músculo masetero, como método biológico de evaluación de la textura de los alimentos. Y así, ante la necesidad de un instrumento de registro para determinar y reproducir gráficamente los impulsos de la actividad muscular, se cuenta con la posibilidad de aplicar un instrumento que ofrece un funcionamiento similar, el "Electrocardiografo"; aparato utilizado en el área médica para el registro de los cambios rítmicos del corazón. Con la utilización del electrocardiógrafo pueden obtenerse registros gráficos de la actividad muscular como resultado del proceso de masticación; obteniendo entonces electrografías que nos dan la posibilidad de estudio de algún cambio en la textura del brócoli. (10)

La actividad muscular se basa en las descargas eléctricas - que se manifiestan como contracción y relajaciones de ésta forma. Las descargas eléctricas por mínimas que sean son registradas a través de los electrodos de aparátos como el miógrafo y electrocardiógrafo aunque practicamente es nula la información sobre el uso de este instrumento y sus respuestas aplicadas a la textura en vegetales.

Finalmente, consideramos que uno de los mecanismos por el cual se logra la descongelación de diferentes productos alimenticios es a través de una fuente de calor; está se puede llevar a efecto por medio de la exposición del producto al aire, vapor, microondas o inmersión en agua, para tal fin es necesario manejar y controlar los procesos y mecanismos de la transferencia térmica preponderantes, el cual se da por medio de la conducción convección y radiación. En caso concreto, los mecanismos que se presentan durante la descongelación en inmersión en agua, y en los cuales se lleva a cabo la transferencia de calor es por medio de la conducción y la convección; adquiriendo en dicho proceso diferentes particularidades.

El mecanismo de transferencia por conducción es la transmisión de calor de una parte a otra del mismo cuerpo ó de dos cuerpos que se encuentran en contacto físico sin que tenga lugar un desplazamiento significativo de las partículas. ( 18 ).

Y ésta ecuación básica se expresa como la ley de Fourier. ( 9 ).

$$\frac{qx}{A} = - k \frac{dt}{dx}$$

Donde :  $qx$  = Velocidad de transferencia de calor.

$A$  = Area normal a la dirección del flujo.

$\frac{dt}{dx}$  La variación de la temperatura con respecto a la distancia  $x$ .

$k$  = Conductividad térmica.

En tanto que la convección ésta definida como :

La transmisión de calor entre un punto y otro de un fluido y un sólido o entre dos fluidos gracias al movimiento ó mezcla de los elementos considerados. La convección puede ser de tipo natural si el movimiento se debe unicamente a las diferencias de densidades producidas por las diferencias de temperaturas ó forzado si el movimiento se favorece por procedimientos mecánicos. Para tal caso la velocidad de transferencia de calor del fluido al sólido se expresa mediante la siguiente ecuación. ( 18 )

Donde :  $Q = h A ( T_s - T_f )$

- $Q$  = Velocidad de transferencia de calor.  
 $A$  = Area de transferencia de calor.  
 $T_s$  = Temperatura de la superficie del sólido.  
 $T_f$  = Temperatura general del medio.  
 $h$  = Coeficiente convectivo de transferencia de calor.

Así en otro sentido la descongelación responde a la variación de la temperatura con respecto al tiempo, es decir, hablamos de transferencia de calor en estado inestable ó transitorio.

Como se mencionó al principio de esta sección la transferencia de calor durante la descongelación utilizando el método de inmersión en agua nos lleva a evaluar al calentamiento del sólido - el cuál responde a la transmisión de calor por conducción en estado no estacionario; mediante la variación de temperatura con respecto al tiempo para ello se han dispuesto igualdades paramétricas que describen la variación de la energía interna del propio objeto como :

$$h A ( T_{\infty} - T ) d t = c_p \rho V d T \quad ( 1 )$$

En donde al reordenar la ecuación e integrando los límites de  $T = T_0$  cuando  $t = 0$  y  $T = T$  cuando  $t=t$ .

$$\int_{T_0}^T \frac{dT}{T - T_{\infty}} = \frac{h A}{c_p \rho V} \int_{t=0}^t dt \quad ( 2 )$$

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}} = e^{-\left(\frac{h A}{c_p \rho V}\right) t} \quad ( 3 )$$

Resuelta la ecuación que describe la historia de tiempo temperatura del objeto sólido. ( 3 ) y su diferencia puede ser más objetiva con el empleo del número de Fourier (NoFo), que es un número adimensional que relaciona la cantidad de calor absorbido - del material por unidad de área en un tiempo dado, ( 3 ) que se expresa como :

$$\text{NoFo} = \frac{\alpha t}{(X_i)^2}$$

Donde :

- $\alpha$  = Difusividad térmica del sólido.  
 t = Tiempo  
 Xi = Dimensión característico del sólido.

En algunos otros casos es imprescindible considerar que los productos que son sometidos a una descongelación dentro de un envase se considera como una resistencia adicional a la transferencia de calor, ésta resistencia que ofrece el recubrimiento puede expresarse como :

$$R = \frac{\Delta x}{k A}$$

- Donde :  $\Delta x$  = Espesor del envase.  
 k = Conductividad térmica del envase.  
 A = Area del envase.

Otro de los elementos a considerar dentro de cualquier estudio que implique un tratamiento con transferencia de calor lo constituyen las propiedades térmicas de los alimentos mismos que influyen grandemente en los procesos de conservación, por el frío tales como la refrigeración, la congelación, el almacenamiento y el transporte especial. (12,32)

En la descongelación el comportamiento de las propiedades térmicas como la conductividad ( k ) el calor específico ( Cp ), densidad, (  $\rho$  ) coeficiente convectivo ( h ) y difusividad térmica (  $\alpha$  ) entre otros permiten observar la evolución de la temperatura del producto a lo largo de este proceso; ya que como se sabe el agua como constituyente mayoritario de los alimentos, se presenta como elemento determinante del valor y de la forma de variación de las propiedades térmicas con respecto a la temperatura, así estos aunados ó las propiedades térmicas del agua y del hielo influyen en la velocidad de descongelación de los productos

Es importante destacar el grado de congelación que adquieren las muestras antes de someterlas a la descongelación. Así Heldman (20) ilustra la siguiente ecuación que permite de manera aproximada conocer la fracción mol de agua (  $X_A$  ).

$$\ln X_A = \frac{\lambda}{Rg} \left( \frac{1}{T_{AO}} - \frac{1}{T_A} \right)$$

Donde :

- $\lambda$  = Calor latente de fusión (6003 J/mol)  
 Rg = Cte. universal de los gases 8.314 J/mol°k  
 TAO = Punto de congelación del agua 273.15°k  
 TA. = Temperatura inicial de congelación.

De acuerdo con la expresión anterior se puede estimar el peso molecular aparente de los sólidos del producto así :

$$M_B = \frac{M_A \cdot W_B \cdot X_A}{W_A (1 - X_A)}$$

Donde :

- MA = Peso molecular del agua.  
 WB = Peso de los sólidos.  
 XA = Fracción mol. de agua.  
 WA = Peso del agua sin congelar.

Y de manera análoga estimar el porcentaje de agua no congelada referido a su contenido de agua :

$$WC = \frac{WA \times 100}{(\% \text{ agua})}$$

### I.5.- CARACTERISTICAS DE ENVASE.

Los alimentos que estan expuestos a una transformación requieren de la presencia de un envase para su almacenamiento y distribución, la función principal de los envases es la de minimizar las reacciones que afectan la estabilidad de los productos contenidos - al existir en el medio reactantes gaseosos, vapor de agua y oxígeno (40).

En la actualidad existen numerosos tipos de envases elaborados con diferentes materiales en las que encontramos : aluminio, polipropileno, poliéster y polietileno entre otros, cada uno es utilizado de acuerdo a las características del producto así como a las condiciones de transporte y almacenamiento requeridos (23,42).

Para la elección del envase se involucran las características químicas y físicas de los alimentos así como los factores que pueden afectar su calidad : humedad, luz, oxígeno y temperatura; - sin descuidar la presentación y costos del mismo. La temperatura, - como parámetro se requiere para la descongelación de los productos, aunque su utilización puede traer consigo un deterioro sobre algunos componentes químicos de los alimentos que sean lábiles al calor. (30, 40, 41).

Así Eheart ( 1969 ) utilizó 2 diferentes tipos de envases; un envase convencional de polietileno y un envase denominado "bolsa de ebullición " sin especificación de características, para observar el efecto del almacenamiento de las muestras de brócoli que se congelaron a una temperatura de - 15°C durante 5 meses así como su posterior cocimiento en agua a temperatura de ebullición en un tiempo determinado evaluándose la retención de acidez total, ácido ascórbico y clorofila de las muestras. En la tabla N°6, se muestra los resultados obtenidos de ésta experimentación.

Así en dicha tabla se observa que el brócoli presenta una mayor retención de ácido ascórbico y clorofila a y b, en envases de ebullición que en envases convencionales de polietileno pero cabe - así mismo señalar que la retención de ácido ascórbico y clorofila - b es mayor en envases convencionales de polietileno que en el cocimiento de brócoli fresco, lo cuál pone de manifiesto que el uso del

envase ayuda a conservar estos elementos. El envase se presenta - como un mecanismo de barrera que limita la velocidad de la transferencia de calor, la cuál se ve determinado por el espesor del material, forma, dimensión y permeabilidad y estas propiedades colectivamente determinan el valor del aislamiento del envase asumiendo - gran importancia en la velocidad de descongelación de los productos al favorecer la retención de constituyentes. (38)

En especial, la utilización de los envases de polietileno en la industria alimentaria ha tenido una diversidad de usos gracias a la combinación de sus propiedades térmicas y mecánicas en este - caso la transparencia, la tenacidad y la resistencia al desgarramiento hacen de él, cualidades importantes para su utilización.

Actualmente una de las Instituciones que elabora el polietileno como materia prima es Petroleos Mexicanos ( 34 ), éste organismo gubernamental ha creado una serie de polímeros de polietileno, cada uno con diferentes aplicaciones y características en las que encontramos el polímero : Px - 20020 - X de uso general de alta resistencia para la elaboración de envases de polietileno de baja densidad; en la tabla No7 se presentan sus propiedades térmicas, - que indudablemente son elementos importantes de considerar para - cualquier análisis térmico respectivo.

Otra de las características de las películas de polietileno - es que la absorción de agua es relativamente baja ya que la ganancia en peso en películas de polietileno de baja densidad en inmersión de agua es de 0.15 % por peso en un año a 20 °C ( 24 ).

Uno más de los beneficios que presentan los envases de polietileno es la accesibilidad que se tiene de poder adquirir este tipo de envase en el mercado nacional a precios relativamente bajos en comparación con otros envases.

TABLA N° 6

EFFECTO DEL COCIMIENTO SOBRE EL pH ACIDES TOTAL ACIDO ASCORBICO Y CLOROFILA EN EL BROCOLI

FACTORES	pH	AC. TOTAL (mg/100 grs)	AC. ASCORBICO (mg/100 grs )	RET. CLOROFILA ( % )		
				a	b	TOTAL
CRUDO	6.64	2.32	110.0	95.1	75.0	86.0
COCIDO FRESCO	6.71	1.17	54.2	43.9	56.8	45.9
B.CONVEN CIONALES	6.60	1.11	58.3	41.9	93.8	49.3
BOLSA DE EBULLI-- CION	6.64	1.21	63.8	50.2	74.0	54.3

TABLA N° 7

---

PROPIEDADES TERMICAS DE LA PELICULA DE POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD.

---

CONDUCTIVIDAD TERMICA	( K ) =	0.282 Kcal/hr m°c
CAPACIDAD CALORIFICA	( Cp ) =	0.55 Kcal/ kg°c
DENSIDAD	( $\rho$ ) =	929 kg/m3
DIFUSIVIDAD TERMICA	( $\alpha$ ) =	$5.574 \times 10^{-4}$ m2/hr
TEMPERATURA DE FUSION	( T ) =	160 °c

---

## **METODOLOGIA EXPERIMENTAL**

SELECCION DE MATERIA  
PRIMA ( BROCOLI )  
VARIEDAD REX HIBRIDA

OPERACIONES PRELIMINARES

Clasificación : Tallo corto, cabeza compacta y desarrollada.  
Selección : No presenta florecencia, color verde-grisaseo, no daño por ataque de plagas.  
Limpieza : Eliminación de hojas y pequeños brotes de tallo.  
Corte : Longitud de tallo aproximado de 4.3 a 4.5cm.  
Lavado : Temp. ambiente, método : asperción.  
Escaldado : Inmersión agua. Temp. 93°C Tiempo 4 min.  
Envasado : Polietileno baja densidad, 20 x 25 cm. espesor 0.04 mm, producto envasado 220 grs.

CAMARA DE CONGELACION  
- Congelación lenta  
Velocidad de aire 1.4 m/s  
Temperatura - 18°C - 3°C

DESCONGELACION  
( Hidrodescongelación )  
TEMPERATURAS  
20°C      40°C      60 °C

CON ENVASE

SIN ENVASE

HISTORIA TERMICA  
(Evaluación de perfiles termicos en el producto.

HISTORIA TERMICA  
(Evaluación de perfiles termicos en el producto.

EVALUACION DE ATRIBUTOS DE CALIDAD.  
- Color.  
- Aceptabilidad  
- Clorofila  
- Textura.

## II.- METODOLOGIA EXPERIMENTAL

## II.1.- DESARROLLO DE CONDICIONES PRELIMINARES.

Para poder determinar el efecto de la temperatura en el proceso de la descongelación de brócoli con la aplicación de un envase de polietileno se planteó una secuencia metodológica de tal manera que factores intrínsecos durante la congelación de brócoli se mantuvieran constantes, con la finalidad que durante la evaluación del producto descongelado no hubiera un efecto marcado para dicho estudio como se plantea en el cuadro N°6.

Para la descongelación de brócoli se planteó la siguiente experimentación :

Operaciones preliminares.

- Clasificación.
- Selección.
- Limpieza
- Corte.

Para el logro de los objetivos planteados, establecidos con la finalidad de definir intervalos de condiciones con la aplicación tecnológica dentro de los límites de conservación de atributos para consumo, se estructuraron las actividades más relevantes realizando durante esta etapa ( cuadro N°6 ), las cuales consistieron como se mencionaron en la aplicación práctica de las operaciones preliminares de la manera siguiente.

La cosecha de brócoli fué efectuada en el Pueblo de San Gregorio A. de la Delegación de Xochimilco, D. F., el brócoli cultivado es de la variedad Rex híbrida y dentro de las características - que lo conformaron en su cosecha fueron :

- Tallo corto con la cabezuela compacta y desarrollada.
- No presentó florecencia.
- Tonalidad verde - grisacea.
- No se observaron daños por el ataque de plagas.

La cosecha se realizó a mano por un solo hombre con la finalidad de evitar la disparidad en cuanto a tamaño, color y compactancia del producto; factores que debemos cuidar para trabajar con la materia prima lo más homogéneamente posible.

El corte se llevó a cabo manualmente, cada cabeza fué removida de la parte central de la planta dejando a su alrededor las hojas más largas.

Una vez cortados se recolectaron en un lienzo plástico en donde fueron apilándose una con respecto a otra, evitando que la carga fuera excesiva provocando daños físicos que repercutirían en su calidad. Para ir formando los rollos, se tomaba a cada una de las brócolis, eliminándose las pequeñas hojas y brotes, el resto de las hojas que la cubrían eran dobladas hacia otras de manera que al agruparlas y amarrarlas sirvieran como base y protección, formándose de ésta manera rollos de un peso aproximado de cada uno de 16 a 24 kgs.

Formados los rollos fueron dispuestos cuidadosamente en la parte trasera de vehículos particulares evitando así la exposición a los rayos solares que producen la deshidratación del brócoli de ésta forma se trasladó hasta llegar a la facultad para realizarse una segunda selección verificando que la materia prima presentase un aspecto aceptable, es decir, libre de alteraciones microbiológicas y fisiológicas.

Uno de los aspectos importantes para la clasificación lo representó el porcentaje de botones del mismo tamaño que presentó cada una de las cabezas; de acuerdo a la clasificación que se hace mención la figura N°1.a, la materia prima con la que se procuró trabajar cae dentro de la clasificación N°4 que presenta un 75 % de los botones del mismo tamaño el cuál nos lleva a mantener una uniformidad de la hortaliza descartando en última instancia diferentes estados de madurez.

El brócoli fué sometido a una limpieza de eliminación de las hojas y pequeños brotes de tallos, no separados en campo, dejando

libre el tallo central y la cabeza; posteriormente se efectuó un lavado por asperción con agua a temperatura ambiente, ayudando a la remoción de materia extraña, polvo, tierra, etc.

Para el corte del brócoli fué tomada la parte externa del tallo separándose los pequeños tallos con florete que forman la cabeza; en ésta operación se midieron los diámetros de los tallos, la longitud de los mismos obteniendo la media de los valores de una muestra representativa de una población de 20 muestras teniendo los siguientes intervalos :

Diámetro de tallo ( cm )	longitud tallo ( cm )
( 1.1 - 1.3 )	( 4.3 - 4.5 )

Al contemplar esta medición se pretende seguir con una uniformidad para analizar a detalle su comportamiento en dicha experimentación bajo las condiciones del proceso planeado.

El acondicionamiento del producto al proceso considera como importante el Escaldado en las condiciones mencionadas con anterioridad, éste se realizó con agua a una temperatura de  $93^{\circ}\text{C} + 3^{\circ}$  durante un tiempo de 4 minutos asegurando que bajo éstas condiciones se inactivan la peroxidasa y catalasa en brócoli ( 50 ) para el control de la temperatura se dispuso de un termopar tipo "T" cobre-constantan acoplado a un registrador Bailey Instruments y, para el control de tiempo se usó un cronómetro estandar.

Durante el escaldado se usó una malla metálica como instrumento para poder introducir los brócolis al agua caliente y de la misma forma sacarlas una vez cubierto el tiempo de exposición así se previenen los daños que pudiera ser causados por un constante manejo del producto . Se escaldarán lotes de 10 kg de brócoli siendo posteriormente removido, el calor suministrado por inmersión en agua helada para evitar que el efecto de calor pudiera continuar y provocar daños secundarios ( 29 ).

El brócoli fué envasado en bolsas de polietileno de baja densidad con las siguientes dimensiones 20 x 25 cm y con un es-

pesor de 0.04 mm cada envase contenía 220 gramos de brócoli, cada bolsa fué cerrada por medio de una selladora térmica procurando en cierta medida su hermeticidad etiquetándose con una clave correspondiente al calendario de actividades formulada, de tal manera que éste control nos permita llevar un orden de las muestras a descongelar en cada sesión así como una posible diferenciación de los lotes que pudieran dar una respuesta diferente ante el almacenamiento.

Congelación.- Una vez realizado el acondicionamiento se procedió a la congelación de las muestras con envase en una cámara de congelación marca OJEDA con capacidad de 10 ton, con un sistema de compresión simple, operando a una velocidad de aire dentro de la cámara de 1.4 m/seg. La congelación fué de tipo lenta y durante el almacenamiento se controló a una temperatura de  $-18^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ . Aspecto importante de cuidar puesto que las fluctuaciones notables de temperatura sobre las muestras provocaría efectos directos sobre sus atributos, dañando su textura.

## II.2.- ESTUDIO DE DESCONGELACION.

Para el estudio de la descongelación se realizó un plan de trabajo para poder llevar un control durante los días de experimentación que fuerón alternándose en 1, 3, 7, 12, 20 y 30 días; - esto lleva a considerar como una variable indirecta al tiempo y - el que hay que tomar en cuenta al analizar el efecto de la temperatura en la descongelación de brócoli; el método aplicado fué la inmersión en agua a tres diferentes temperaturas 20, 40 y  $60^{\circ}\text{C}$ , - siendo cada día descongelados 440 gramos de brócoli para cada una de las diferentes temperaturas en las que se realizaba la descongelación con envase y sin envase, de acuerdo al diseño experimental del cuadro N°1.

La descongelación se efectuó de la siguiente manera :

CUADRO N° 1

DISEÑO EXPERIMENTAL

DIAS	1		3		7		12		20		30	
DESCONGELACION INMERSION EN AGUA TEMP. °C	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S	C	S
20	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
40	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒
60	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒	☒

- C = Descongelación del brócoli con envase.  
 S = Descongelación del brócoli sin envase.  
 ☒ = Muestra de brócoli de 220 gr.  
 ☒ = Evaluación de parámetros.

- Tiempo de descongelación.
- Evaluación de temperatura.
- Propiedades térmicas.
- Apariencia.
- calor.
- clorofila. 2 repeticiones por c/muestra.
- textura. 5 repeticiones por c/muestra.

Se utilizaron 3 recipientes metálicos con agua a una capacidad cada una de 10 litros, estos eran mantenidos a una temperatura de 20, 40 y 60°C respectivamente para el registro de la temperatura, se introdujo un termopar tipo " T " cobre-constantan que está acoplado a un registrador Bailey Instruments BAT 8 (SADDLE BROOK), dentro del medio, cuidando que la temperatura se controlara en los niveles establecidos para la descongelación en cada caso.

De la cámara de congelación se eligió la bolsa correspondiente al día y la clave en la cuál se llevaría el proceso de descongelación, como se mencionó anteriormente para cada temperatura se descongelaban 440 gramos de brócoli correspondiendo 220 gramos a una descongelación con envase y el resto a una descongelación sin envase.

Bajo cada tratamiento con envase fig. 3.a y sin envase fig. 4 fueron registradas las historias térmicas con la ayuda de 2 termopares de penetración en donde uno de ellos era introducido en la parte central del tallo a una profundidad de 2 cm, con la finalidad de obtener datos más confiables en la evolución de la temperatura en función del tiempo y mantener una igualdad de posición de cada muestra experimental; variable que se mantiene constante para cada caso, como se indica en las figuras 3a, 3b y 4. y el otro termopar era colocado en el medio de descongelación procurando que permaneciera invariable cada una de las temperaturas seleccionadas del medio.

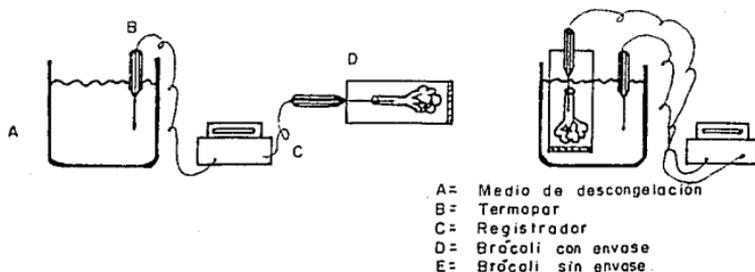


FIG. N° 3.a.

FIG. N° 3.b.

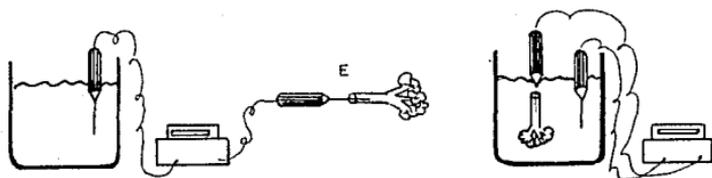
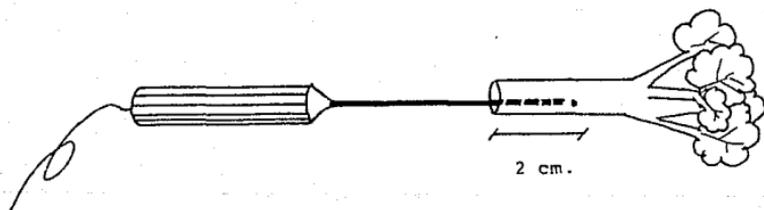


FIG. N° 4.



Al final del proceso cada una de las muestras descongeladas y bajo las condiciones de dicha experimentación, se colocaron en recipientes plásticos identificados cada uno con una clave de las condiciones a las que se llevó a cabo; posteriormente cada una de las muestras fué sometida a la evaluación de retención de atributos de control del producto : clorofila, color, textura, y apariencia.

## Determinación Química de Clorofila.

Para la determinación química de clorofila se propuso la técnica del A.O.A.C. (1980) que determina y cuantifica la clorofila total presente en el producto después de ser sometido al proceso de descongelación.

- a).- Se pesaron en una balanza analítica 5 gr de muestra - adicionada de 20 a 30 ml de acetona al 85 % (solución extractora de clorofila ) y se dejo para la extracción 24 horas en la obscuridad.
- b).- Posteriormente se transfirió la muestra a un mortero con brazo, se molió perfectamente efectuando continuos lavados con acetona al 85 %, filtrando hasta la extracción total de clorofila, transfiriendo la solución a un matraz volumétrico de 100 ml aforando con acetona.
- c).- Se tomó la lectura de absorbancia de las muestras preparadas a 660 y 642.5 mm en un espectrofotómetro (marca BAUSH & LOMB modelo SPECTRONIC 20 )
- d).- La determinación de la concentración de clorofila total se obtuvo mediante la siguiente expresión :

$$\text{Concentración} = 7.12 A_{660} + 16.8 A_{642.5}$$

( mg/litro )

A = Absorbancia a la longitud de onda indicada para el cálculo del contenido de clorofila total -  
( mg/100 gr) se empleó la siguiente relación.

$$\frac{\text{mg. de clorofila total}}{100 \text{ mg muestra}} = \frac{\text{Conc.} \times V \times 100}{M \times 1000}$$

Donde :

Conc. = Concentración de la clorofila total en -  
mg/litro.

V = Milímetros de acetona al 85 % empleados

en la extracción.

$l/100$  = Factor de conversión en mg/litro o mg/ml.

M = Gramos de muestra.

Los datos fueron analizados estadísticamente por un método factorial de ( 3 x 6 x 2 ) correspondiente a 3 temperaturas, 6 días y los diferentes usos del envase con el fin de observar los efectos que experimenta la clorofila ante la consecuente exposición de las diferentes temperaturas de la descongelación en inmersión en agua. (39)

#### Color.

Para examinar el efecto que produce las diferentes temperaturas y la utilización del envase de polietileno se propuso un cuestionario de evaluación sensorial (Cuadro N°9) para establecer las diferencias de color en brócoli descongelado; en dicho cuestionario se anexa una escala de aceptabilidad que tiene el producto ante el color mostrado, lo cuál es importante saber para el gusto del consumidor, ya que por más que un alimento que sea sano, nutritivo, barato y de atractivo color, si su gusto es desagradable será rechazado así la aceptación de un alimento viene determinado por su aspecto, color, gusto y textura ( 4 ).

El color y la aceptación es un fenómeno sensorial que necesita para su expresión que alguien lo juzgue, para ello en esta evaluación participaron 5 panelistas no entrenados y para que ubicarón el color que presentaba el brócoli después del tratamiento de descongelación ante una tabla de quince tonalidades de color verdes-grisáceas concerniente al brócoli en diferentes etapas de madurez; estas fueron enunciadas en una escala ordinaria de 1 al 16 es decir, de una menor a una mayor tonalidad de color verde presentada en el brócoli.

De manera similar la escala utilizada en la evaluación sensorial de la prueba de aceptabilidad de color fué la siguiente:

Gustó	=	4
Ní gustó ni disgustó	=	3
Disgustó	=	2
Disgustó mucho	=	1

Los resultados fueron analizados estadísticamente utilizando el modelo de bloqueo al azar y procediendo a realizar el análisis de varianza (ANOVA) correspondiente a dicho modelo estadístico el cuál tiene por objeto minimizar el error experimental que el factor panelista pudiera ocasionar en las respuestas.

Así fueron revisados los parámetros a evaluar, color y apariencia; y siguiendo el orden correspondiente al modelo en cuestión se tiene :

$$Y_{ij} = U + T_i + P_j + E_{ij}$$

$$i = 1, 2 \text{ --- } n$$

$$j = 1, 2 \text{ --- } n$$

Donde :

$Y_{ij}$  = Calificación de la muestra  $i$  por el panelista  $j$

$U$  = Efecto de la media general.

$T_i$  = Efecto del tratamiento  $i$  - ésimo.

$P_j$  = Efecto del panelista  $j$  - ésimo (utilización del concepto de bloqueo).

$E_{ij}$  = Error aleatorio que surge por el efecto conjunto de todos los factores no contables durante la experimentación que además está asociada a la muestra  $i$  - ésimo por el panelista  $j$  - ésimo.

La hipótesis a plantear en cada caso es :

$$H_0 = M_1 = M_2 = \dots = M_n$$

a).- La  $H_0$  se acepta cuando  $F.C < F$  teórica, es decir, que no existen diferencias significativas entre las muestras a un nivel significativo ( $\alpha$ ).

b).- Si  $H_0$  se rechaza, es decir  $F.C > F$  teórica se dice que existen diferencias significativas entre las muestras al nivel de significancia dado. (39)

Cuando existen diferencias altamente significativas entre los diferentes tratamientos en donde se pretende discernir en la variable de respuesta es conveniente aplicar el método de comparaciones múltiples de Tuckey, éste está basado en las comparaciones entre pares de las calificaciones promedio ( $Y_i$ ) dadas por los panelistas a las diferentes muestras, el cuál sigue el criterio de :

$$|x_i - x_j| > \text{DMSH}$$

$$\text{DMSH} = q s \bar{x} \quad ; \quad s \bar{x} = \sqrt{\frac{\text{CME}}{P}}$$

DMSH = Diferencia mínima significativa honesta.

$s \bar{x}$  = Desviación estandar de medias.

q = Factor de rango estudentizado.

P = N° Panelistas.

CUADRO N° 7  
EVALUACION SENSORIAL COLOR

NOMBRE : \_\_\_\_\_

FECHA \_\_\_\_\_

Lea cuidadosamente las instrucciones antes de contestar.

- 1.- Tome la muestra que se le proporciona.
- 2.- Observe el color que tiene el florete.
- 3.- Ubique su muestra en la tabla de color.
- 4.- Escriba sobre la línea el número que usted considere corresponde al color observado - y relacionelo con la información que tiene a su derecha anotando la letra correspondiente.

CLAVE :    C / 20        S / 20        C / 40        S / 40        C / 60        S / 60

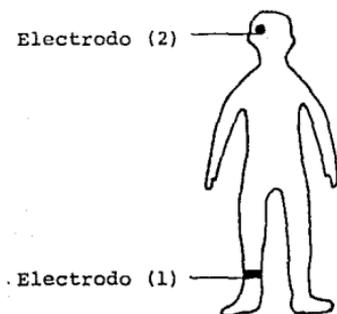
- A - Gusta mucho.
- B - Gusta.
- C - Ni gusta ni disgusta.
- D - Disgusta.
- E - Disgusta mucho.

De cada uno de los lotes descongelados C/20, C/40, C/60, S/20, S/40 y S/60, se tomarón cinco trozos de tallo de brócoli - que fuerón cortados a una longitud aproximada de 3 cm está se - realizó con el fin de que la muestra presentase características homogéneas para poder determinar su textura, de cada tratamiento se efectuaron un número de 5 repeticiones en cada sesión experimental.

Para elló fué necesario la utilización de 2 electrodos del electrocardiógrafo, una colocada a la pierna derecha del sujeto el cuál funcionó como un elemento de tierra (anodo) de un circui to eléctrico y el otro puesto en el músculo temporal tal como se muestra en la figura N°5, Durante está operación se le pidió al panelista que permaneciera en una posición sentado, conservando se tranquilo y sereno; se le pidió colocar entre sus dientes de ese mismo lado, una muestra de brócoli; en el momento de empezar a triturar la muestra se ponía en operación el electrocardiógrafo hasta concluir diez oclusiones. El registro se tomó desde la primera mordida hasta la número diez.

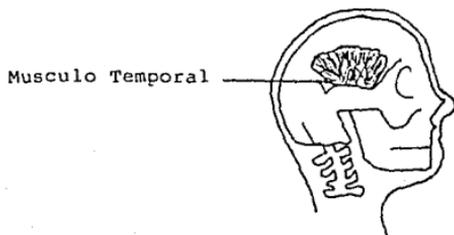
Es importante señalar que en este estudio se realizó con - una sola persona, ya que las variables a lo que nos enfrentamos en el registro de la actividad muscular puede ser similar ó diferente ya que estas dependen de : Tipo de oclusión, estado general de salud, tipo de alimentación, etc.

FIG. N°5



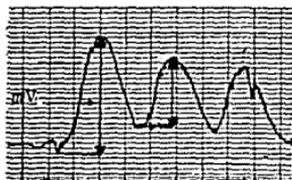
A partir del proceso de la masticación para analizar las respuestas sobre textura en un electrocardiograma; se eligió el músculo temporal cuyas características proporcionarán la facilidad de obtener un registro gráfico del cambio de textura debido a que el músculo eleva y proyecta la mandíbula durante la masticación, es decir, su acción es tirar hacia arriba del maxilar inferior ó mandíbula, al contraerse ejecutando una fuerza para triturar el producto hasta que vence la resistencia inicial se relajó, permitiendo la depresión de la mandíbula, movimiento que corresponde a una mordida. (5,47,48)

El músculo temporal se localiza en la parte lateral del craneo, en una extensa zona ósea.



Obtenidas las electromiografías de todas las muestras durante la etapa experimental, se toma de cada una la medición del desplazamiento o fuerza ejercida durante la primera y última masticación del brócoli y de ésta forma, cada lectura es medida desde su base hasta el pico terminal, está fuerza fué valuada por la altura de los picos en unidades de milivoltios (mV). El electrocardiógrafo cuenta con un papel registrador especial presentando divisiones milimétricas es decir, que por cada 10 milímetros de desplazamiento vertical, corresponda a 1 mV requerido para triturar el brócoli.

Fig. N°6



Los valores obtenidos se analizarón estadísticamente por medio del método factorial (  $3 \times 5 \times 2$  ) correspondiendo a 3 temperaturas 5 días y tratamientos que implica el uso del envase; - en donde éste método se pretende describir las pruebas de significancia para los tres efectos principales y las interacciones involucradas. (49)

## II.4.- TRANSFERENCIA TERMICA.

Experimentalmente y en particular el análisis de la transferencia térmica en el proceso de la descongelación de brócoli con envase y sin envase fué dado por medio de la aplicación de la historia térmica de cada uno de las unidades experimentales, obteniendo en cada caso, el tiempo - temperatura a lo largo de su descongelación, teniendo en común alcanzar una temperatura final de 3 °C, por otra parte, con la recopilación de éstos datos y la resolución de la ecuación, llevó a obtener gráficas de tipo exponencial que está determinada por la siguiente expresión :

$$\frac{T - T_M}{T_i - T_M} = e^{-\frac{h A}{C_p V} t}$$

En donde el término  $-\frac{h A}{C_p V}$  representa la pendiente y al conocer la relación superficie - volúmen denominado Xi nos lleva al concimiento del término  $\alpha = \frac{h x_i}{C_p} = \frac{k}{C_p}$  que es la difusividad térmica del producto a lo largo de la descongelación.

Otro de los aspectos interesantes que se consideraron para caracterizar la difusividad térmica de las muestras descongeladas con envase y sin envase, fué conocer el porcentaje de agua congelada que lograrón tener a lo largo de la fase de congelación, de ésta manera se logró conocer el inicio de las características del producto que en un momento dado pudiera influir en el análisis de la transferencia de calor ya que el brócoli contiene un 90 % de agua, y las propiedades térmicas del hielo en especial la difusividad térmica experimenta un cambio en la temperatura a una velocidad aproximadamente nueve veces mayor que el agua. (19,20)

Indiscutiblemente las muestras de brócoli que fueron descongeladas con envase y sin envase presentaron diferentes geometría a la transferencia de calor por lo cuál, cabe aclarar que en ambas condiciones no fueron comparativas en términos de transferencia de calor sino el efecto que traiga consigo la aplicación de

diferentes temperaturas.

Pero para una diferenciación objetiva entre cada temperatura y su condición con envase y sin envase se hizo uso del término del número de Fourier.

$$\text{No Fo} = \frac{\alpha t}{(X_i)^2}$$

## **ANALISIS DE RESULTADOS**

Al interpretar los resultados de las técnicas de control - efectuadas en la descongelación de brócoli con la aplicación de diferentes temperaturas y el uso de un envase de polietileno, - su pudo observar la influencia que tuvieron éstas variables en sus atributos de calidad (textura, color y apariencia), aunados al tiempo de almacenamiento que tuvieron que aguardar las muestras para su descongelación. No obstante, se consiguió durante su comportamiento térmico obtener gráficas de la evolución de - la temperatura a lo largo del proceso de descongelación, registrando interesantes cambios de las curvas en cada una de las - muestras descongeladas con envase y sin él, así mismo ésto nos lleva a una serie de resultados que permite analizar e inferir en el grado de deterioro que sufrió el brócoli a su descongelación.

### III.1.- COMPORTAMIENTO TERMICO DE LA DESCONGELACION DE BROCOLI.

Como parte de la influencia térmica, para analizar en sí - el proceso de la descongelación de brócoli, fué necesario el conocimiento teórico del porcentaje aproximado de agua congelada que contenía a lo largo de la fase de congelación; aspecto importante de considerar para caracterizar de mejor manera al producto inicial.

Y de acuerdo a la expresión número para evaluar la fracción mol de agua antes de congelar (  $X_A$  )

$$\ln X_A = \frac{\lambda}{Rg} \left[ \frac{1}{T_{Ao}} - \frac{1}{T_A} \right]$$

Sustituyendo tenemos : para un valor de  $\lambda$  de 6003 J/mol a la temperatura de :

$$\ln X_A = \frac{6003 \text{ J/mol}}{8.314 \text{ J/Mol}} \left[ \frac{1}{273.15} - \frac{1}{271.45} \right] \text{ } ^\circ\text{k}$$

$$\begin{aligned} \ln X_A^* &= -0.0165 \\ X_A &= 0.9835 \text{ (Fracción mol de agua sin congelar).} \end{aligned}$$

La fracción mol de agua no congelada se obtuvo puntualmente para cada temperatura, partiendo de una temperatura inicial de congelación de ( -1.7°C) obteniendo los siguientes resultados.

TEMPERATURA	FRACCION MOL DE AGUA.
- 1.7	0.983
- 2	0.980
- 3	0.971
- 4	0.961
- 5	0.951
- 6	0.942
- 7	0.932
- 8	0.923
- 9	0.913
- 10	0.904

Evaluada la fracción mol de agua, se calculó el porcentaje de agua no congelada (WA) y el porcentaje de agua congelada referido a su contenido de agua ( 90 % ) ( WC) para cada temperatura.

TEMPERATURA (°C )	WA ( % )	WC ( % )
- 1.7	86.88	90
- 2	73.62	81.80
- 3	50.30	55.88
- 4	37.02	41.13
- 5	29.16	32.40
- 6	24.40	27.11
- 7	20.59	22.87
- 8	18.01	20.01
- 9	14.14	15.71

Con estos resultados se obtuvo el porcentaje de agua congelada que presentaron las muestras de brócoli de acuerdo a su temperatura inicial y en la que (WC) al pasar de  $-1.7^{\circ}\text{C}$  a  $-9^{\circ}\text{C}$ , se ve reducida de 90% a 15.71% siendo notable este resultado a partir del punto teórico de congelación en el orden de  $-2^{\circ}\text{C}$ .

### III.2.- DESCONGELACION CON ENVASE.

En la gráfica N° 1, podemos observar la trayectoria que siguen los productos al iniciarse la descongelación con envase al emplearse 3 diferentes temperaturas (20, 40 y  $60^{\circ}\text{C}$ ) en donde la influencia de las propiedades térmicas del producto son de terminantes en la evaluación de la temperatura con respecto al tiempo; así como la película de polietileno la cual cuenta con una conductividad térmica de  $0.282 \text{ Kcal/mhr}^{\circ}\text{C}$  y un espesor de  $0.04 \text{ mm}$ ; para una mejor descripción de la gráfica esta fué analizada por debajo y arriba del punto de congelación.

A la temperatura de 20, 40 y  $60^{\circ}\text{C}$  por debajo de su punto de congelación ( $-1.7^{\circ}\text{C}$ ) se puede apreciar un ascenso rápido de la temperatura del producto debido a que éste se encuentra en estado de congelación contando con un porcentaje de agua a una temperatura de  $-5^{\circ}\text{C}$  de 57.6 % referido a su contenido de agua de (90 %) pag. 56 en este estado, el agua intercelular contenida dentro del producto se encuentra congelada favoreciendo la transmisión rápida de calor, aunado al gradiente de temperaturas del medio al producto.

Por arriba del punto de congelación se observa que las temperaturas de 20 y  $40^{\circ}\text{C}$  el incremento de la temperatura del producto se ve disminuido ya que a medida que se va descongelando el producto presenta agua no congelada, lo que afecta gradualmente la transferencia térmica sumada a la resistencia que ofrece la cantidad de sólidos presentes y al envase de polietileno. Por otra parte las diferentes temperaturas de  $20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$  y  $60^{\circ}\text{C}$  se obtuvo el tiempo promedio de 18 muestras experimenta

les para darse la descongelación.

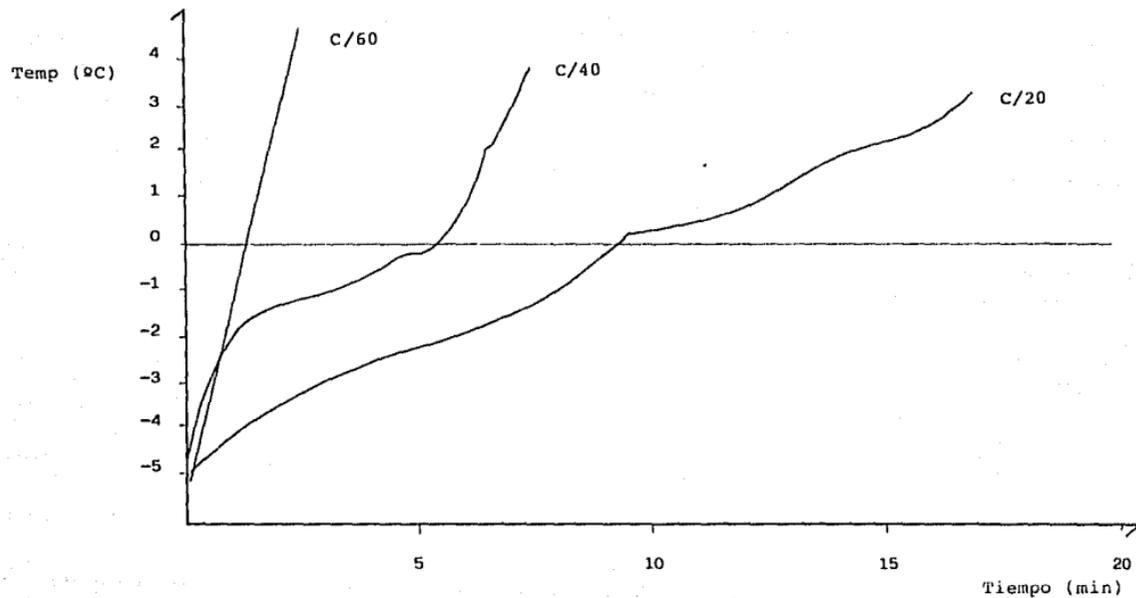
TEMPERATURA ( °C)	TIEMPO PROMEDIO	
	(min)	(hrs)
20	16.5	0.275
40	7.0	0.116
60	2.0	0.033

Así como por otra parte obtuvo los valores de la difusividad térmica  $\alpha \frac{(m^2)}{hr}$  que nos permite observar la facilidad con - que el sólido <sup>absorbe</sup> el calor del medio para llevarse a cabo la descongelación, el valor de  $\alpha = 8 \times 10^{-4} \frac{m^2}{hr}$  y para cada temperatura se obtuvo el número de Fourier, encontrándose éste en un orden de variación promedio de 97.7 a 11.4 para las temperaturas de 20 a 60°C, lo que puede traducirse como la influencia notable del cambio de la difusividad del producto durante - el proceso.

TEMPERATURA ( °C )	N°FOURIER	GEOMETRIA RECTANGULAR
20	97.7	$A = 1.5 \times 10^{-2} m^2$
40	41.2	
60	11.7	

De ésta forma se diferencia y estima los valores obtenidos - de la descongelación de brócoli con envase que aunado a los resultados obtenidos en el análisis sensorial permitirá caracteri- zar más el efecto que producen las temperaturas para su descon- gelación.

DESCONGELACION CON ENVASE



Grafica No. 1

### III.3.- DESCONGELACION SIN ENVASE.

La gráfica N°2, nos muestra el comportamiento que tiene la temperatura ante el producto que se descongela sin envase, cuando se emplean las 3 diferentes temperaturas 20, 40 y 60°C.

Para una mejor descripción de éstas curvas se plantean tres zonas durante el proceso de descongelación ( I, II, III ).

I.- En esta zona al inicio de la curva se presenta un rápido incremento de la temperatura de la muestra, esto ocurre porque aún no existe agua no congelada, lo que es favorecido por las propiedades térmicas del hielo.

II.- El incremento de la Temperatura se ve disminuida por la presencia de agua que logra descongelarse de su estructura celular así como los sólidos presentes que actúan como aislantes a la transferencia de calor, ésta influencia gráficamente se presenta como una planicie, además es interesante observar que durante su historia térmica la temperatura permanece por un tiempo dado casi constante.

III.- Por último en esta tercera zona exhibe un rápido aumento de la temperatura al ser vencidas las resistencias propias de la muestra.

Con esto podemos observar que a medida que aumentamos la temperatura el tiempo requerido es menor para poder descongelar.

Así el tiempo que tardaron las muestras en descongelarse y llegar a tener una misma temperatura de 3°C fué el siguiente :

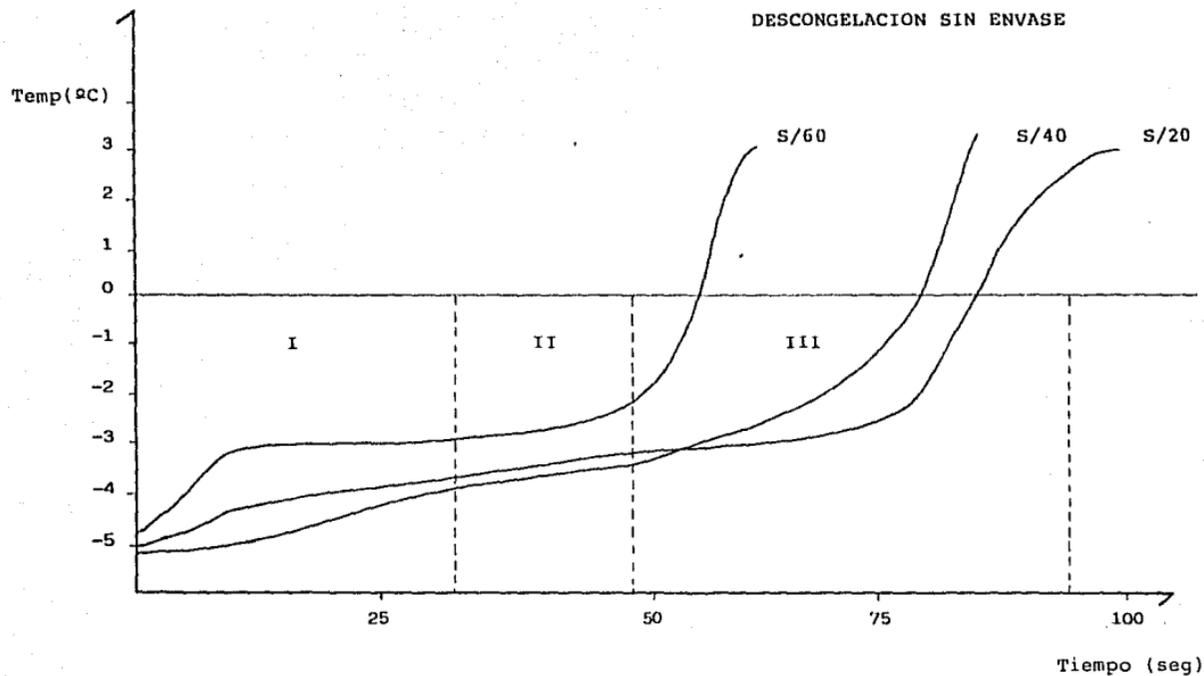
TEMPERATURA DEL MEDIO ( °C )	TIEMPO ( min )	( hrs )
20	2.35	0.039
40	0.91	0.015
60	0.74	0.012

De manera similar que la descongelación con envase, se obtuvo su difusividad térmica con un valor de  $\alpha = 2 \times 10^{-3}$  un valor del número de Fourier, cabe mencionar que el área que se tomó para estimar dicho número fué el área que tiene en promedio los tallos de brócoli que se sometieron a la descongelación: (por lo que estos dos sistemas de descongelación són totalmente diferentes y su comparación no puede ser válida.

TEMPERATURA DEL MEDIO ( °C )	NUMERO DE FOURIER	AREA
20	8.6	$A = 3 \times 10^{-3} \text{ m}^2$
40	3.3	
60	2.6	

Con estos valores observamos que a las temperaturas de 40 y - 60 °C no presenta una diferencia tan marcada como la temperatura a 20 °C que es de 8.6

En sí estos valores no nos permiten deducir en sí el efecto - que producen en empleo de 3 diferentes temperaturas para la descongelación de brócoli en contraste con los resultados de los - análisis sensoriales.



Grafica No. 2

### III.4.- COMPORTAMIENTO DE PROPIEDADES.

#### III.4.1.- C O L O R

La percepción de las muestras descongeladas a través de los diferentes tratamientos fué comparativa con la tabla de la gama de tonalidades que fué presentada ante los panelistas, obteniendo información la cuál fué agrupada y analizada por medio del análisis de bloques aleatorios.

La hipótesis a probar.

$$H_0 \text{ Color}_{20} = \text{Color}_{40} = \text{Color}_{60}$$

Donde :  $\text{Color}_{20}$  = Es a la temperatura que se descongela la muestra ( 20 °c) y así para cada temperatura.

Se tiene como criterio de rechazo :

$$F.C. > F. \text{ Teórica}$$

---

CUADRO N°8, ANOVA PARA COLOR EN LA DESCONGELACION CON ENVASE.

---

FV	G.L.	SC	CM	F.C.
Temperatura	2	32.23	16.11	1.036
Panelista	19	563.65	29.66	1.907
Error	38	591.10	15.55	
Total	59	1186.98		

---

Para  $\alpha = 0.05$   $f_t = 3.23$  por lo que  $F.C. < f_t$

Al hacer el análisis observamos que para  $\alpha = 0.05$  la  $f_t$  es mayor que la  $FC$  por lo que no existen diferencias significativas entre los tratamientos al aplicar el uso del envase, es decir no presenta cambios de color en las muestras, la cuál implica que la descongelación a las temperaturas de 20, 40 y 60°C no afecta -

en primera instancia el cambio de color; por lo tanto la hipótesis nula es aceptada.

---

CUADRO N°9, ANOVA PARA COLOR EN LA DESCONGELACION SIN ENVASE.

---

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.
Tratamientos	2	71.10	35.55	1.71
Panelista	19	570.58	30.03	1.44
Error	38	787.57	20.78	
Total	59	1431.25		

---

Para  $\alpha = 0.05$  Ft = 3.23 por lo tanto F.C. < F.t.

Para la descongelación sin envase se encuentra que no existen diferencias significativas entre los tratamientos de igual manera que en el caso anterior. De estos dos análisis podemos mencionar que el uso ó no del envase no es una variable crítica para la conservación de color al ser aceptadas las hipótesis de ambos casos

### III.4.2.- ACEPTABILIDAD.

La aceptabilidad que tuvieron los productos sometidos a los diferentes condiciones de descongelación fué evaluado tomando - como base la escala ordinal propuesta en la hoja de evolución - sensorial de color Cuadro N° 7 , asignándose un valor para una mejor interpretación de las variables de respuesta .

Debemos considerar que la aceptabilidad es un término subjetivo en donde el panelista se basó de manera conjunta en parámetros de color, que determinan el grado del producto para su consumo, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados :

CUADRO N°10, ANOVA ACEPTABILIDAD DE COLOR PARA LA DESCONGELACION CON ENVASE.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.
Tratamientos	2	7.24	3.62	7.32 **
Panelista	19	17.94	0.949	1.91
Error	38	18.76	0.494	
Total	59	43.94		

$$\text{Para } \alpha = 0.05 \quad F_t = 3.23 \quad F.C > F.t$$

Existen diferencias significativas entre las diferentes temperaturas de descongelación ante la aceptabilidad del producto - descongelado con envase y para poder discernir en la variable de - respuesta, aplicamos el método de comparaciones múltiples de Tukey.

	C/20	C/40	C/60
$\bar{X} =$	3.8	3.35	2.95

Donde : C/20 Descongelación con envase a una temperatura -  
de ( 20 °C) y así para cada temperatura.

$$C/20 - C/40 = 0.45$$

$$C/40 - C/60 = 0.40$$

$$C/20 - C/60 = 0.85$$

$$DMSH = q \bar{sx}; \quad \bar{sx} = \sqrt{\frac{CME}{r}}$$

$\bar{sx}$  = Desviación estandar de medios.

q = Factor de rango estudentizado.

Para  $\alpha = 0.05$  tenemos :  $\sqrt{\frac{0.494}{20}}$  (3.44) = 0.540

$$\sqrt{\frac{0.494}{20}}$$
 (4.37) = 0.686

Comparando :

$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	
0.45	0.540	0.45	0.686
0.40	0.540	0.40	0.686
0.85	0.540 **	0.85	0.686 **

Este análisis nos muestra que los tratamientos C/20 y C/40 - C/60 no presentan diferencias significativas, pero se observó que hay una diferencia altamente significativa entre los tratamientos C/20 - C/60; al comparar estas 2 temperaturas y las respuestas en el cuestionario muestran el desagrado por las muestras de C/60 al asignarles los panelistas un valor de desagrado; en tanto a la temperatura de 20°C se obtuvieron en la escala ordinal de la escala de evaluación un mayor valor de la aceptación.

CUADRO N°11 ACEPTABILIDAD DE CALOR PARA LA DESCONGELACION SIN ENVASE

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.
Tratamiento	2	36.94	18.47	20.82
Panelista	19	18.32	0.964	1.086
Error	38	33.73	0.887	
Total	59	88.99		

Ft	para $\alpha = 0.05\%$	3.23	
	$\alpha = 0.01\%$	5.18	F.C. > Ft

Se rechaza por lo tanto hay diferencias altamente significativas y recurriendo nuevamente al método de Tukey tenemos :

	S/20	S/40	S/60
S/20	Descongelación sin envase a una temperatura de (20 °C) 40 y 60°C respectivamente.		

	S/20	s/40	S/60
$\bar{x}$ =	4.05	2.85	2.15
S/20 - S/40 = 1.2		$\sqrt{\frac{0.887}{20}} (3.44) = 0.72$ ( =0.05 )	
S/40 - S/60 = 0.70		$\sqrt{\frac{0.887}{20}} (4.37) = 0.92$ ( =0.01 )	
S/20 - S/60 = 4.90			

Para  $\alpha = 0.05$

Para  $\alpha = 0.01$

S/20 - S/40 = 1.2	0.72*	1.2	0.92 **
S/40 - S/60 = 0.70	0.72	0.7	0.92
S/20 - S/60 = 1.90	0.72*	1.9	0.92 **

Entre los tratamientos S/20 - S/40 y S/20 - S/60 presentan diferencias altamente significativas en su utilización con lo que se puede inferir que a la temperatura de 20 °C sin envase su aceptación es mucho mayor ya que al no haber cambio entre S/40 - S/60, - el desagrado se muestra de igual proporción. Por lo tanto a la - temperatura de 20 °C y sin la utilización del envase ofrece que el producto mantenga un grado de aceptación, así, sin la utilización del envase y a las temperaturas de 40 y 60 °C se observa un efecto más directo sobre las muestras aunado a ello una mayor área de contacto favoreciendo un rápido incremento de la transferencia de calor, lo que conlleva al deterioro de la hortaliza, presentando físicamente flacidez entre los pequeños tallos de los floretes, debido al rompimiento de la estructura celular de los tejidos, cambio de color, etc.

La determinación química de clorofila a lo largo de la fase experimental fué analizada estadísticamente por método factorial ( 3 x 6 x 2 ), en el que se tienen 3 temperaturas 6 días y 2 diferentes envases ( con envases y sin envase de polietileno)

CUADRO N°12 ANOVA PARA LA DETERMINACION QUIMICA DE CLOROFILA

FV	GL	SC	SM	F.C.
Efectos princ.				
A	2	19.31	9.65	2.20
B	5	380.10	76.02	17.39
C	1	51.56	51.56	11.79
Interacción de dos factores				
A	10	146.65	14.66	3.35
A	2	2.12	1.06	0.24
B	5	96.51	19.30	4.41
Interacción de Tres factores				
A B C	10	64.34	6.43	1.47
Error	36	157.67	4.37	
Total	71	918.26		

EFECTOS PRINCIPALES

- A = Temperatura 20, 40 y 60 °C  
 B = Días.  
 C = Envase.

F.C.	PARA $\alpha = 0.05$ Ft	$\alpha = 0.01$ Ft	Diferencias
A = 2.20	3.23	5.18	NS
B = 17.39	2.45	3.51	**
C = 11.79	4.08	7.31	**
AB = 3.35	2.08	2.80	**
AC = 0.24	3.23	5.18	NS
BC = 4.41	2.45	3.51	**
ABC = 1.47	2.08	2.80	NS

Examinando los valores anteriores podemos señalar que el proceso - de la descongelación a las diferentes temperaturas 20, 40 y 60°C, no muestran un efecto significativo en las muestras de brócoli; ni en - la interacción temperatura - envase se marca un efecto significativo. Los efectos aislados de días de almacenamiento y diferentes usos del envase fueron significativos.

Por lo tanto el efecto directo de la destitución de clorofila en - las muestras de brócoli descongelado fueron los días de almacenamiento, y la participación del uso del envase.

## III.4.4.- TEXTURA.

Con la utilización del electrocardiógrafo se pudo obtener valores de una variable no paramétrica, que de alguna manera establece diferencias entre los tratamientos que se aplicarán durante la descongelación, facilitando la evaluación de éste control; obteniéndose 150 gráficas durante toda la fase experimental de las cuales se obtuvieron los datos necesarios para observar las interacciones de los factores que en un momento dado afectan la textura del brócoli descongelado.

CUADRO N°13, ANOVA PARA TEXTURA EN LA DESCONGELACION DE BROCOLI

FV	GL	SC	CM	F.C.
Efectos princi. pales.				
A	2	5.70	2.85	50.66
B	4	6.90	1.72	30.66
C	1	0.049	0.049	0.88
Interacción de dos factores.				
AB	8	2.21	0.276	4.90
AC	2	0.140	0.070	1.24
BC	4	0.261	0.065	1.15
Interacción de tres factores				
ABC	8	1.264	0.158	2.80
Error	120	6.75	0.056	
Total	149	23.274		

EFECTOS PRINCIPALES :

A = 20, 40 y 60 °C

B = Días.

C = Envase

F.C.	Para $\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.01$	DIFERENCIAS
		Ft	Ft	
A	50.66	3.07	4.79	**
B	30.66	2.45	3.48	**
C	0.88	3.92	6.85	NS
A B	4.90	2.02	2.66	**
A C	1.24	3.07	4.79	NS
B C	1.15	2.45	3.48	NS
A B C	2.80	2.02	2.66	**

Analizando los resultados podemos observar, que dentro de los efectos principales A y B ( temperatura y días ) existen diferencias altamente significativas ( \*\* ) entre las diferentes temperaturas de descongelación y los diferentes días en que fué realizada la evaluación es decir, que hay cambios en la textura de brócoli - debido a la presencia de estos 2 factores.

En lo concerniente al uso del envase (C) no existen diferencias significativas al ser utilizados ó no durante la descongelación.

Para hacer una diferencia más objetiva del efecto de las diferentes temperaturas tanto con envase como sin él, aplicamos el método de comparaciones múltiples de Tuckey.

$$DMSH = \sqrt{\frac{0.056}{25}} ( 2.80 ) \quad \alpha = 0.05 \quad = \quad 0.1328$$

$$DMSH = \sqrt{\frac{0.056}{25}} ( 3.70 ) \quad \alpha = 0.01 \quad = \quad 0.1755$$

#### CON ENVASE

Temperatura (°C )	$\bar{X}_i$ (mV)	$\alpha = 0.05$	$\alpha = 0.01$
20	= 1.333	0.1328	0.1755
40	= 1.24	0.1328	0.1755
60	= 0.874	0.1328	0.1755

$(\bar{X}_i - X_j)$ 

Diferencias

72

20 - 40	=	0.090	NS
40 - 60	=	0.456	**
20 - 60	=	0.366	**

Entre las temperaturas de 20 y 40°C no se aprecia un cambio - en la textura de brócoli en comparación con las temperaturas de - 40 - 60 y 20 - 60. A la temperatura de 60 °C hay alteraciones en - la textura del brócoli; ejerciendo un efecto directo con la aplica- ción del envase.

SIN ENVASE

Temperatura ( °C )	$\bar{X}$ (m V)
20	1.42
40	1.20
60	0.94

$(\bar{X}_i - X_j)$	Diferencias
20 - 40 =	0.22 **
40 - 60 =	0.48 **
20 - 60 =	0.26 **

Con las temperaturas de 20, 40 y 60 °C se establecen diferen- cias altamente significativas (\*\*), ahora bien, si confrontamos la descongelación con envase y sin envase podemos examinar que no hay cambio en la textura entre 20 y 40 °C esto lo podemos atribuir a - que el área de exposición a la transferencia térmica es menor que a la descongelación sin envase y por consiguiente el efecto de la temperatura hace precencia en el cambio de textura.

Referente a la interacción entre los factores A - B (tempera- tura- Días) presentaron diferencias altamente significativas (\*\*), la relación que existe afecta la variación en la textura y entre - A - C (temperatura - envase ) y B - C (días - envase) no hay dife- rencias significativas, es decir, el empleo del envase no es tan relevante para el proceso de descongelación como los efectos de la

temperatura y los días, por lo tanto la interacción entre los tres factores dá como resultado diferencias altamente significativas.

## CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos del estudio de la descongelación de brócoli se determinaron las siguientes conclusiones :

- \* Se logró alcanzar una temperatura de congelación de brócoli de  $-5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  teniendo un porcentaje aproximado de congelación de  $-57.6\%$ .
  - \* En el comportamiento térmico de la descongelación de brócoli con la aplicación del envase de la bolsa plástica de polietileno se obtuvo :
  - \* Gráficas características y similares o la de otros productos alimenticios sometidos a la descongelación.
  - \* Existe una notable diferencia entre los tiempos de descongelación a las temperaturas de  $60^{\circ}$  y  $40^{\circ}$  contra  $20^{\circ}\text{C}$  de 14.5 minutos - 9.5 minutos respectivamente.
  - \* La geometría considerada fué rectangular con un área promedio de  $1.5 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ .
  - \* El valor de la difusividad térmica fué para éste caso de  $8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{hr}$ .
  - \* Se observó una notable variación promedio en el Número de Fourier de 97.7 a 11.4.
  - \* Para temperaturas de  $20$  y  $60^{\circ}\text{C}$  que puede deberse a los diferentes valores de la temperatura para la descongelación del brócoli.
  - \* En el comportamiento térmico de la descongelación de brócoli sin envase se obtuvo :
  - \* Una posible descripción del comportamiento de las gráficas correspondientes a las temperaturas de descongelación de  $20$ ,  $40$  y  $60^{\circ}\text{C}$ , las cuales presentan las mismas características.
- I.- El asenso de la temperatura se ve disminuido debido a la presencia de agua descongelada y la presencia de los sólidos presentes en el brócoli.

## CONCLUSIONES DEL COMPORTAMIENTO DE PROPIEDADES.

### COLOR :

La influencia de las diferentes temperaturas a 20, 40 y 60°C con la aplicación del envase y sin envase no presentó en el análisis estadístico diferencias singificativas entre ambos tratamientos por lo cual podemos mencionar que el uso del envase no es una variable crítica para la conservación de color al no apreciarse diferencia alguna.

### ACEPTABILIDAD :

En el análisis de la aceptabilidad del producto descongelado con envase tuvieron mejor aceptación las tratamientos de 20 y -40 °C que el comparativo a las temperaturas de 20 y 60°C, habiendo diferencias altamente significativas. En el caso de la descongelación sin envase se marcaron diferencias altamente significativas en cada tratamiento (20, 40 y 60 °C), atribuido a que el producto descongelado con envase no sufrió cambios críticos en sus características físicas como los productos descongelados sin envase, al presentar abertura de los tallos y presencia flácida de los mismos teniendo una ocurrencia y una afección mayor a la temperatura de 60 °C.

### CLOROFILA :

En el análisis estadístico factorial para la determinación química de clorofila, se obtuvo que para los tratamientos a la temperatura de 20, 40 y 60°C la descongelación con envase y sin envase no se presentaron cambios en la concentración de clorofila, por tanto la afección más directa con la que se enfrenta es con el tiempo de almacenamiento al que tuvieron que aguardar, - las muestras antes sometidas a la descongelación.

### TEXTURA :

Se presentaron cambios en la textura al aplicar una tempera-

tura de descongelación de 60 °c tanto con envase como sin envase, por lo tanto al confrontar a las temperaturas de 20 y 40 °C, se establece una diferencia estadística altamente significativa al igual que la interacción directa entre las diferentes temperaturas y los días de almacenamiento.

- El efecto de la temperatura en el cambio de textura es notorio en la descongelación a 20 y 40 °C, con envase ya que no se presentaron diferencias obteniéndose una textura firme y de la cual se tuvo un desplazamiento de 1.33 a 1.24 mV respectivamente en comparación con la descongelación a 60°C que fué de 0.8 mV
- Con la aplicación del uso del electrocardiógrafo para la medición de textura en brócoli, se obtuvo una diferenciación objetiva ante cambios que se manifestaron en su textura.
- Se establecen limitantes para el uso del electrocardiógrafo en la evaluación de textura en otros productos alimenticios :
  - Tipo de producto.
  - Contar con un panelista adiestrado.
  - Comparar el electrocardiógrafo con algún texturometro y observar variaciones estadísticas de la textura de otros productos alimenticios.

Las condiciones más convenientes para la descongelación de brócoli en base a la retención de sus atributos de calidad fueron :

- Temperatura de descongelación en inmersión de agua 20 o 40°C.
- Es invariable en la descongelación de brócoli el uso o no del envase de polietileno.
- Es conveniente que el producto no permanezca por más de 30 días congelado, ya que su almacenamiento afecta sus atributos de calidad al ser descongelado.

Dadas las condiciones anteriores es conveniente mencionar - que los objetivos planteados se cumplieron satisfactoriamente esperando que éste trabajo sirva de apoyo a otros estudios de des--congelación de productos alimenticios.

**ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

## B I B L I O G R A F I A

- 1.- Amerine, MA. Pagborn R.M. y Roessler.  
Principles of Sensory Evaluation of Foods, Academic Press New York and London (1965)
- 2.- Alvarez, C.A. Apuntes de Ingeniería de Refrigeración y Congelación F.E.S.C. UNAM (1986)
- 3.- Bauorne Malcon C. Texture profile analysis Food Technology, July pp 62 - 72 ( 1978 )
- 4.- Braverman, J.B.S. Introducción a la bioquímica de los alimentos Ed. El Manual Moderno de México D.F, (1980)
- 5.- Brorndl, M.A. Shinner E.Z. Texture Profile Method J. Of. Fd. (1963):
- 6.- Brendler, R.A. Once-Over harvesting of broccoli for freezing. Calif. Agr. September pp 12 - 13 (1971)
- 7.- Canet, P.W. Estudio de la influencia de los tratamientos de escaldado, congelación y descongelación en la textura y estructura de la patata. Alimentaria N°23 T - (I, II y III)(1981).
- 8.- Carroad, P.A. Swartz J.B. and Bomben J.C.  
Yield and solid loss in water and steam blanching water and air cooling freezing and cooking of broccoli spears J. Food Sci (45): 1408 (1980)
- 9.-Christie N. Geankoplis : Proceso de transporte y Operaciones Unitarias, México, D. F.Ed.CECSA (1982)
- 10.- Costell E. Duran L. Medida de la textura de los alimentos II, Medida sensorial de la textura. Rev.Agr, Tec, Alim. Vol. 15 (3) pp 301 - 313 (1975).
- 11.- Dedeh A. and Stanley D.W., Implications of the microstructure of legumes. Food Tech October pp 77-83 (1979).
- 12.- Dickerson W. and Read B.R. Calculation and measurement of heat transfer in foods. Food Tech Vol. 22 pp 37 - 52

- 13.- Chung B. Effects of plants density on the maturity and Once-over harvest yields of broccoli. J. Of. Hort. Sc. Vol. 57 (3) pp 365 - 372 (1982)
- 14.- Earle R.L. Ingenieria de los Alimentos, Ed. Acribia Zaragoza España (1967).
- 15.- Eheart M.S. Effect of Storage and other variable on composition of frozen broccoli. Food Tech 24 pp 69-71 - - (1970)
- 16.- Eheart M.S. Variety, Fresh Storage Blanching solution and - blanching solution and packings effects on ascorbic acid total ph chlorophylls in broccoli. Food Tech.- vol. 23 pag 238 (1969)
- 17.- Fennemo Owen R. Introducción a la ciencia de los alimentos. - Ed. Reverte 1°Ed. Barcelona, España.
- 18.- Granger B.G. Shirers F.A. etal. Operaciones básicas de la - Ingeniería Química. Ed. MARIN, S. A. España pp-435-471 (1965).
- 19.- Heldman R.D. Factors Influencing Food freezing Rates. Food - Tech. April 1963.
- 20.- Heldman R. D. Singh R.P. Food process Engeneering. 2°Ed. AVI Publishing Company Inc.
- 21.- Heldman R.D. Singh R.P. Introduction of food Engeeneering. - Academic Press. Inc.
- 22.- Hucker G.J. and Clarke A. Effect of Alternate freezing and - thawing on the ascorbic acid content of frozen vege tables. Food Tech pp 50-51 May. 1961)
- 23.- Karel Marcus, Fennema Owen R. Principles of food Science part. II physical principles of food preservation. Marcel Dekkey Inc. New York and Basel U.S.A. (1975).
- 24.- Kirk E.R. and Othmer F.D. Enciclopedia de la tecnologia Quími ca T XII Unión Tipográfica Ed. Hispano Americana, Mé xico, D. F. (1962).

- 25.- Kramer A. and Twigs B. A.- Fundamentals and Quality Control for the food Industry 2°Ed. AVI. Publicidad C.Wes port. (1970).
- 26.- Larmon Elizabeth. Laboratory methods for sensory evaluation of food. Food Research Inst. Ottawa Ont. Research Branch Canada Department Of Agriculture' (1977)
- 27.- Leberman K.W. and et al Post-Harvest Changes of broccoli - stored in modified altmospheres food Tech Vol. 22 pp 143 - 174.
- 28.- Leen Frank.- The Blanching Proces. Adv. in food research - ( 8 ) 1958.
- 29.- León C.F. Mata et al.Escaldado de productos hortofrutícolas. Alimentario N°138 pp 57 - 59 (1982)
- 30.- Lund, B. Daryl. Maximizing Nutrient Retention food Tech. Fe bruary pp 71-78. (1977)
- 31.- Miller C.H. Konsler T.R. and Lomant WJ. Cold stress influen ce on premature flowing of broccoli. Hart S.C. - Vol. (20) 2. 1985
- 32.- Mascheroni R.H. et al Recopilación y Evaluación de las propiedades térmicas de los productos carnicos. Ali- mentaria. 1984.
- 33.- PEMEX. Manual de Polietileno de baja densidad. México.D. F. 1976.
- 34.- PEMEX. Productos elaborados por Petroleos Mexicanos.
- 35.- Poldsal P.K. Optimization of vegetables blanching. Food - - Tech. June pp 122 - 129. (1986)
- 36.- Ponting D.S. Feinberg A. and Boyle F.P.. Fruits characte- ristics and the stability of the frozen products. Chapter 5 in the freezing preservation of foods, vol. II Tressler D.F. Van Arsedel Wallace B. Copley M.J. AVI Publishing Co. 1968

- 37.- Producción y Comercialización de Brocoli Anónimo.
- 38.- Renfrew A. Morgan P. Polythene the technology and use of - Ethylene polymers, USA. 1957
- 39.- Said Infante Gil. Métodos estadísticos no paramétricos. - Centro de estadística y cálculo U.A.CH. 1980
- 40.- Seymour G.G. Food Package compactibility food. Tech December pp 54 - 63 (1985)
- 41.- Schwartz S.P. Regulatory requirements for new packaging materials and processing technologies. Food Tech December. pag. 61 (1985)
- 42.- Shewfelt, R.L. et al Broccoli storage of N-benzyladenina - packaging and leing on color of fresh broccoli. J. of food Sc. 1983.
- 43.- Suimacka S. A. Objtective measurments of food texture. General Foods Co. New York, pp 410-1420 (1982).
- 44.- Swartz J.B. Carroad P.A. Recycling of water in vegetable blanching. Food Tech. June 33 (6): 54 (1979).
- 45.- Swartz J.B. Carroad P.A. A coolins systems with water reacycle for blanched vegetables. J. Food Se 46:440 - (1981)
- 46.- Sweeney J.P. and martin M.E. Stability of Chorofhyll in ve getables as affected by ph. Food tech May pp 263-- 265 (1961)
- 47.- Tortora J.G. y Peter Anagnostakos M. Principios de Anato-- mía y Fisiología. Ed. Harla S.A. México, D. F. pp 188 - 206. (1977)
- 48.- U.N.A.M. Manual de Prótesis parcial fija y removible. Ed. S.S.A.E. México, D. F. (1982)
- 49.- Walpole E.R. Myers R.H. Probabilidad y Estadística para In genieros. 2ºEd. Interamericana México. 1982.
- 50.- Williams D.C. Lim M.H. et al Blanching of vegetables for - freezing which indicator enzyme to choose. Food - Tech Vol. 40 (6) (1986).

## EDICIONES ESPECIALES.

- 51.- Boletín anual de Temporada de la Unión Nacional de Productores de Hortalizas. (UNPH). México. 1986.
- 52.- Dirección General de Estadística, S.P.P. México 1986
- 53.- Dirección General de Economía Agrícola, S.A.R.H. México - 1986.