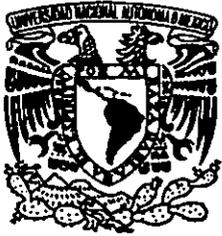


12

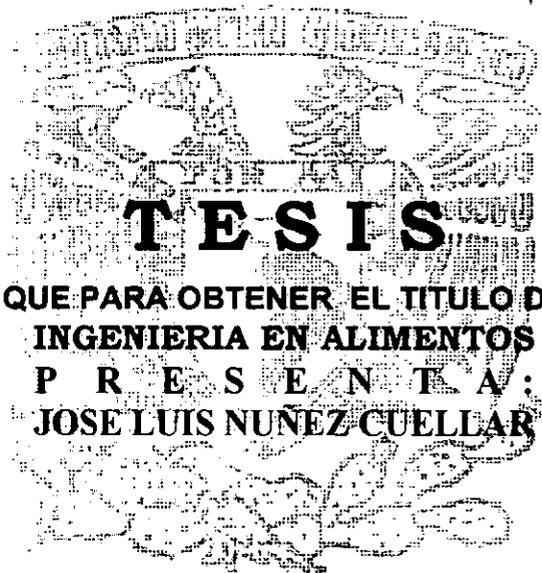
2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

"EFECTO DE LA CONGELACION
CRIOGENICA EN CAMARON ROSADO
(Penaeus Duoradum D.)"



TESIS

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERIA EN ALIMENTOS
P R E S E N T A :
JOSE LUIS NUNEZ CUELLAR

ASESOR: ING. ROSALIA MELENDEZ PEREZ
COASESOR: ING. MARTIN MANCILLA PAZ

CUAUTITLAN IZCALLI, EDO. DE MEX.

1998

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

264588



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 esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

GOBIERNO NACIONAL
 AZTLA MALE
 MEXICO

ASUNTO. VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen Garcia Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Efecto de la Congelación Criogénica en Camarón Rosado
(Penaeus duorarum D)".

que presenta al pasante: José Luis Núñez Cuellar
 con número de cuenta: 8928769-1 para obtener el TITULO de:
Ingeniero en Alimentos

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 20 de abril de 1998

PRESIDENTE I.Q. Fernando Maya Servin

VOCAL I.A. Alfredo Alvarez Cárdenas

SECRETARIO I.A. Rosalía Meléndez Pérez

PRIMER SUPLENTE I.A. Laura M. Cortazar Figueroa

SEGUNDO SUPLENTE Dra. Silvia Estrada Flores

AGRADECIMIENTOS

*A Dios por dejarme vivir y compartir cada día con mi familia y amigos.
Además de haberme permitido darle esta alegría a mis padres.*

*A mis padres José Luis Núñez de Lira y María Concepción Cuéllar,
por la sabiduría, el carácter y la firmeza con la que me educaron.
Estando presentes en cada uno de mis aciertos y fracasos*

*A mis hermanos por otorgarme su apoyo y alegría cada día de mi
vida.*

*A los Ing. Martín Mancilla y Alberto Ramírez por el estímulo y consejo
en la elaboración de esta obra.*

A mis compañeros y amigos.

INDICE

INTRODUCCION	1
RESUMEN.	2
CAPITULO 1	
1. ANTECEDENTES	3
1.1 SITUACIÓN ECONÓMICA DEL CAMARÓN	3
1.1.1 MÉXICO Y EL COMERCIO INTERNACIONAL DE CAMARÓN.	3
1.1.2 PRODUCCIÓN DE CAMARÓN EN MÉXICO	3
1.1.3 PRESENTACIONES DE CAMARON A EXPORTAR.	12
1.2 ASPECTOS DE CALIDAD EN LA CONGELACION DE CAMARON.	13
1.2.1 MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL CAMARON.	15
1.2.2 MELANOSIS EN EL CAMARÓN.	16
1.2.3 NORMAS DEL CAMARÓN CONGELADO.	18
1.3 CONGELACION DE ALIMENTOS.	21
1.3.1 FASES DE LA CONGELACIÓN.	22
1.3.2 VELOCIDAD DE CONGELACIÓN Y FORMA DE LOS CRISTALES DE AGUA.	25
1.3.3 EFECTOS DE LA CONGELACIÓN DEL AGUA EN LA CALIDAD DEL ALIMENTO.	28
1.3.4 GENERALIDADES DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN CONGELACIÓN.	30
1.3.4 1 MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR	30
1.3.4 2 PROPIEDADES TÉRMICAS	34
1.4 METODOS DE CONGELACION.	37
1.4.1 CONGELACION POR SISTEMAS MECANICOS.	37
1.4.2 EQUIPO UTILIZADO EN LA CONGELACIÓN MECÁNICA DE CAMARÓN.	37
1.4.2.1. CONGELADORES POR CONTACTO INDIRECTO.	38
1.4.2.2 CONGELADORES POR CONTACTO DIRECTO	43
1.4.3 CONGELACIÓN CRIOGÉNICA.	45
1.4.3.1 EL NITRÓGENO.	45
1.4.3.2 SISTEMA DE CONGELACIÓN CRIOGÉNICA POR NITRÓGENO.	45
1.4.4 EQUIPO PARA CONGELACIÓN CRIOGÉNICA.	56
1.4.5 CONGELACIÓN CRIOGÉNICA DE CAMARÓN.	62

CAPITULO 2

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL	66
2.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES	66
2.2 SELECCION DE VARIABLES	73
2.3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL	75
2.4 LOCALIZACIÓN DEL CENTRO TÉRMICO.	77
2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.	79
2.6 CONTROL DE LA MATERIA PRIMA	82
2.7 MATERIAL y EQUIPO	82
2.8 TÉCNICAS DE CONTROL.	82

CAPITULO 3

3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
3.1 DETERMINACION DEL CENTRO TERMICO	84
3.2 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CONGELACIÓN	98
3.3 ANÁLISIS DE DESHIDRATACION	106
3.4 ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE CAMARON QUEBRADO	113
CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFIA	121
ANEXO 1	123

INTRODUCCION

La industria del camarón en nuestro país ha sido golpeada por factores económicos, pero continua siendo productiva, con un producto altamente aceptado a nivel mundial por sus características de tamaño, uniformidad y calidad.

Esta industria se ha venido desarrollando en la zona del Pacífico, en particular en el Estado de Sinaloa. Debido a que el camarón es un producto caro, se justifica el estudio de formas de conservación, siendo congelado la manera en la cual este producto se comercia en mayor proporción.

La congelación permite mantener casi intactas las características del producto, dependiendo del método de congelación y la forma en que es aplicado, haciendo la observación de que la congelación permite mantener las características del producto y no las mejora.

El uso del frío en el camarón como método de congelación ha sido usado desde hace mucho tiempo, resultando eficaz al retardar la acción de microorganismos y la actividad enzimática propia del camarón. Para la aplicación del frío se usan diversos métodos con equipos que usan sistemas mecánicos como medio de producción de frío y equipos que utilizan fluidos congelantes tales como el Nitrógeno y CO₂.

El estudio de la congelación Criogénica permitirá ampliar la visión acerca de los métodos de congelación, siendo el estudio de las características y variables que afectan a este método de congelación el objeto de nuestro estudio.

Por último la aplicación del método Estadístico de Taguchi en la experimentación permite establecer las variables que afectan al proceso, así como establecer las condiciones a las cuales se debe realizar el proceso.

RESUMEN.

El estudio de los métodos de conservación reviste de enorme importancia en la industria alimentaria, pues dependiendo de la manera en que se lleve a cabo, se obtendrá un producto de alta calidad y larga vida de anaquel.

Se ha partido del interés de saber las características técnicas y económicas de la congelación de camarón con el método criogénico. Se ha partido del hecho de que la congelación criogénica, es utilizada en alimentos con alto valor agregado, razón por la cual se escoge el camarón como objeto de estudio.

El objetivo de la presente tesis es obtener experimentalmente las condiciones a las cuales la congelación criogénica del camarón Subtipo A (crudo y entero) y de la especie *P. duorarum* (rosado) se realiza más rápido, minimizando los niveles de deshidratación y ruptura.

El primer capítulo esta referido a los antecedentes de la congelación del camarón: importancia económica, generalidades de la congelación (factores que afectan su congelación, velocidad de congelación, fases de la congelación, parámetros de transferencia de calor, etc.), así como los métodos de congelación factibles en el camarón, es decir, tanto mecánicos como criogénicos, abordando al final algunos aspectos importantes del sistema de congelación criogénica.

El capítulo 2 esta destinado al desarrollo de un método experimental que nos permita conocer cuales son las variables y condiciones a las cuales el método de congelación criogénica de camarón se debe llevar a cabo, partiendo de las características del producto, las variables del proceso y haciendo uso del método estadístico de Taguchi.

En el último capítulo se realiza el tratamiento de datos obtenidos en la experimentación, a través del método Estadístico de Taguchi, proporcionando una explicación posible acerca del comportamiento de las variables. Al final este estudio arroja los niveles y condiciones a los cuales es recomendable realizar la congelación criogénica del camarón.

CAPITULO 1

ANTECEDENTES

1. ANTECEDENTES

1.1 SITUACIÓN ECONÓMICA DEL CAMARÓN

Las empresas Mexicanas buscan en la industria pesquera obtener ganancias y una forma exitosa de hacerlo es exportando hacia el mercado de Estados Unidos, la Comunidad Europea y Japón. Para lograrlo se deben estudiar cuales son las formas más acertadas de conservar los productos perecederos, y adecuarse a los estándares de calidad de los mercados compradores.

Además de garantizar la calidad de los productos, el inversionista busca que los costos de conservación y manejo le genere ganancia, pues como todo negocio tiene que ser "per se" lucrativo.

Para los fines que se persiguen en esta tesis se estudiará en primera instancia la economía del camarón a nivel mundial para después particularizarlo a nuestro país, revisión que nos brindará la justificación económica para el estudio técnico de la congelación de esta especie marina.

1.1.1 MÉXICO Y EL COMERCIO INTERNACIONAL DE CAMARÓN.

La razón por la cual el camarón representa una gran alternativa para invertir, es el nivel que su comercialización mantiene a nivel mundial. El valor agregado de esta especie es muy alto y las especies mexicanas son muy aceptadas, debido a su homogeneidad en tamaño y calidad.

Las variedades Blanco y Rosado son producidas en el país, además de que sus características de calidad lo hacen del agrado del mercado mundial.

En cuadro 1 se observa el estado del mercado de camarón en 1994 y su proyección para el año 2000. Los estudios realizados en ese año mencionan que los volúmenes de consumo de esta especie crecerán para el año 2000 hasta casi las 2.7 millones de toneladas, de las cuales más de 1 millón provendrán del cultivo (Guadarrama, 1994).

INDICADORES	E. U.	JAPON	CEE
CONSUMO	25 % DE LA PRODUCCION MUNDIAL Y EN AUMENTO	AUMENTO	AUMENTO MODERADO
PRODUCCION	DEL 30-35 % A LA BAJA	SOLO PRODUCEN 10 %	PRODUCEN EL 40 % DEL CONSUMO
AREAS	GOLFO DE MEXICO Y ALASKA	ISLAS DE JAPON	NORTE DEL ATLANTICO (PANDALIDOS)
IMPORTACION	ASIA Y LATINOAMERICA	CHINA, RUSIA, ALASKA Y ACTUALMENTE TAMBIEN MEXICO	NORUEGA, ISLANDIA, GROENLANDIA Y OTRAS
VOLUMENES	1988: 230,000 2000: 400,000	1988: 270,000 2000: 400,000	1988: 70,000 2000: 107,000
PRESENTACION	DIVERSOS TAMAÑOS SIN CABEZA Y CONGELADO.	TALLAS GRANDES VIVOS Y CONGELADOS.	TALLAS MEDIANAS, ENTEROS Y COCIDOS.
ESPECIES	BLANCO, ROSADO, ROJO, TIGRE NEGRO Y BLANCO CHINO.	JAPONES, TIGRE NEGRO Y BLANCO CHINO.	PANDALIDOS, TIGRE NEGRO, BLANCO CHINO.
ORIGEN	PESCA Y CULTIVO	PESCA Y CULTIVO	PESCA Y CULTIVO
PRECIO	BAJO MODERADO	BAJO MODERADO	BAJO MODERADO

Cuadro 1. Comercio mundial de camarón. Fuente: Alimentaria.1994

Lo anterior representa oportunidades de desarrollo para el mercado de camarón siendo los principales países consumidores Japón, la CEE y los Estados Unidos.

La producción mundial de camarón es de 12,000 millones de dólares, teniendo un intercambio comercial de 7,000 millones de dólares. Actualmente Japón importa más de 300 mil toneladas, CEE 136 mil y EEUU 273 mil y se espera un crecimiento del mercado en China con volúmenes similares. (Simposium Internacional de Camarón, 1997)

Las cifras alrededor de estos tres grandes consumidores del camarón mexicano para el periodo de Enero a Mayo de 1996 las podemos visualizar en el siguiente cuadro.

PAIS IMPORTADOR	VOLUMEN IMPORTADO (MILES DE TONELADAS)	VALOR (MILES DE DOLARES)
ESTADOS UNIDOS	273	2,184,000
JAPON	300	2,400,000
CEE	136	1,088,000

Cuadro 2. Principales importadores de camarón mexicano. Fuente: Simposium Internacional de Camarón. 1997.

Para visualizar claramente cual era la situación de México en 1994 entre los países productores, analisemos la figura 1 donde se muestra que México conserva un buen lugar, en lo que respecta a la exportación de camarón hacia los Estados Unidos, aún y cuando su participación se ha visto disminuida en un gran porcentaje a partir de 1986.

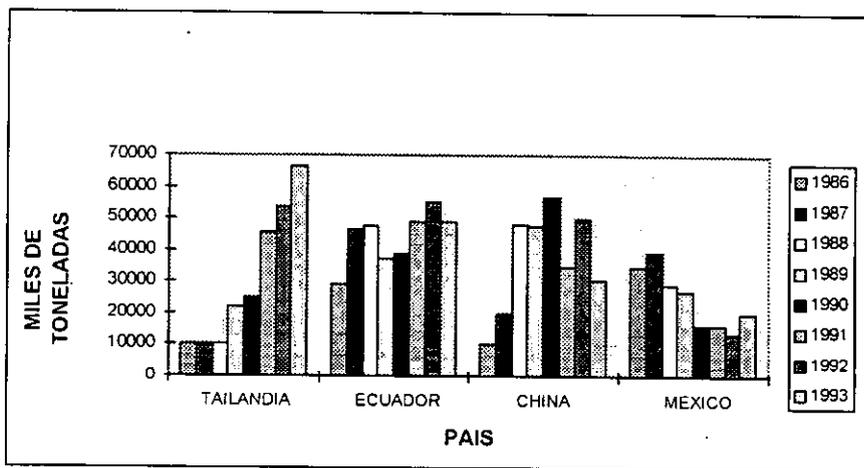


Figura 1. *Importaciones Norteamericanas de camarón* Fuente: Departamento de Comercio de Estados Unidos. Oficina de Censos. 1994.

Aún y cuando se vieron caídas en producción en 1994, debido a la entrada de países tan fuertes como Tailandia y Ecuador (el cual es actualmente el líder en tecnología acuícola del camarón), el camarón resultó uno de los principales productos de exportación de la Balanza Comercial Mexicana.

1.1.2 PRODUCCIÓN DE CAMARÓN EN MÉXICO

A lo largo de nuestras costas existen diversas especies de camarón en nuestro país, siendo algunas de mayor valor económico que otras. Cada especie tiene zonas de pesca en las cuales predomina, siendo estas regiones determinadas dependiendo de la profundidad y región de alta mar. A continuación se mencionan las principales especies que se encuentran a lo largo del Pacífico y el Golfo Mexicano, así como su nombre científico.

Camarón predominante en el Pacífico.

<i>Camarón café.</i>	<i>Penaeus californiensis</i>
<i>Camarón blanco.</i>	<i>Penaeus vannamei</i>
<i>Camarón azul.</i>	<i>Penaeus stylirostris</i>
<i>Camarón rojo</i>	<i>Penaeus brevirostris</i>

Camarón predominante en el Golfo.

<i>Camarón café.</i>	<i>Penaeus aztecus</i>
<i>Camarón blanco.</i>	<i>Penaeus setiferus</i>
<i>Camarón rosado.</i>	<i>Penaeus duorarum D.</i>
<i>Camarón rojo.</i>	<i>Penaeus brasiliensis</i>

Fuente: OCEAN GARDEN.1992

En la figura 2 se proporciona una aproximación de la distribución de las zonas de captura de camarón.



Figura 2. Distribución de la pesca de camarón en México. Fuente Ruiz Durán,1992.

La captura del camarón en México, en el año 1995 alcanzó el valor de 51,000 toneladas (FIGURA 3), cifra que refleja el enorme esfuerzo realizado por parte de las cooperativas. (BIOSEA-BANCOMEXT,1995).

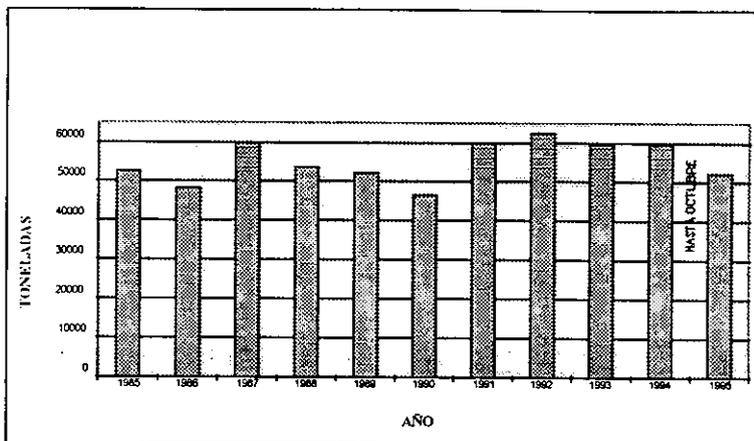


Figura 3. Toneladas de camarón producidas en el país (1985-1995) Fuente: BIOSEA. Información oportuna del sector Alimentario.

Para tener idea de la importancia de la industria camaronera, y recurriendo a estadísticas obtenidas para el periodo de 1985-1995 se puede observar que la captura de camarón se mantuvo en valores anuales mayores a 45,000 toneladas, lo cual representa niveles de captura muy altos (cerca del 5% de la pesca total en México para el año de 1995).

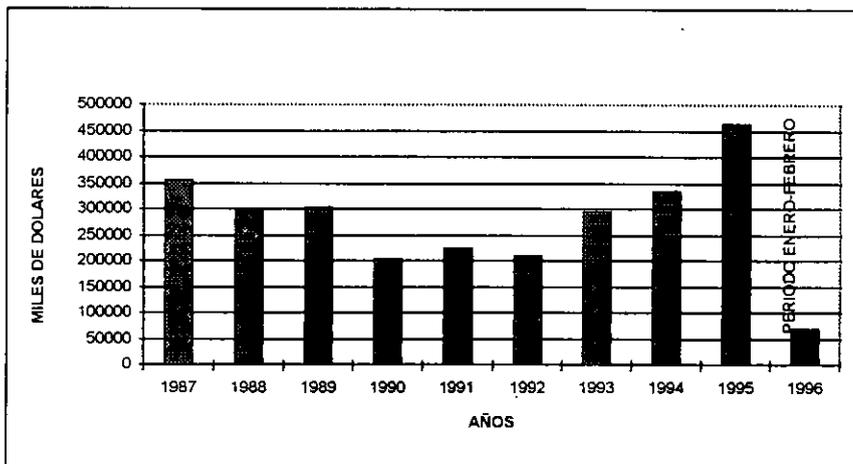


Figura 4. Exportación de camarón congelado. Fuente: BIOSEA. Información oportuna del sector Alimentario.

En la figura 4 se puede ver que aunque la exportación sufrió una caída estrepitosa al principio de este sexenio, en el periodo 1993-1995 tuvo un incremento vertiginoso. Obteniendo para el año de 1995 más de 450 millones de dólares por concepto de exportación. Significando un incremento del 27% en comparación a las exportaciones realizadas para 1994. (FAO-BIOSA, 1992-1995)

En lo que respecta al porcentaje que representa el camarón dentro de las exportaciones, en el periodo 1987-1989 alcanzó un valor de 10% en promedio y aunque esta se ha visto disminuida (6.2% para 1990 y 6.0% en 1992), se comenzó a estabilizar para el año de 1993 en un 7%, manteniéndose en estos niveles hasta 1995 (FIGURA 5). (BIOSA, 1995)

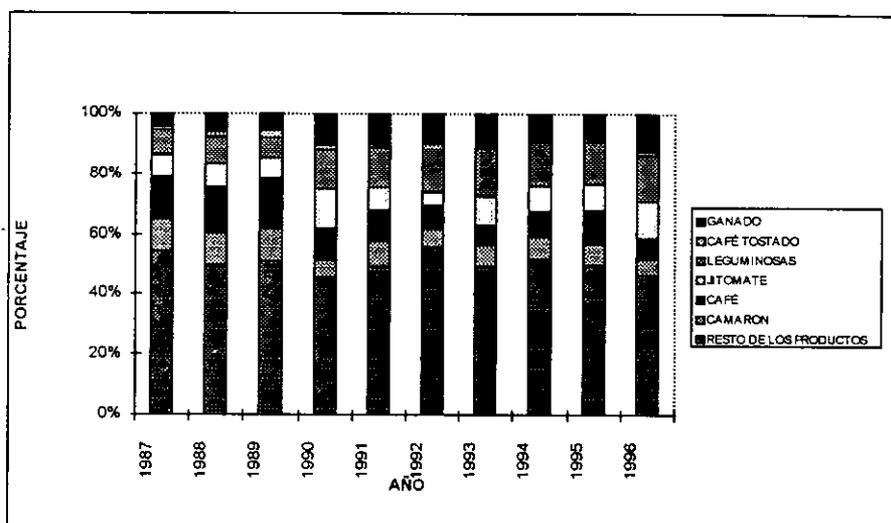


Figura 5. Partida de productos alimenticios en la exportación. Fuente: BIOSA. Información oportuna del sector alimentario

La Figura 5 indica una disminución en la participación de la industria camaronesa en las exportaciones, esto no significa un retroceso sino que otros sectores han crecido, como ejemplo se encuentran las leguminosas que han crecido de un 6.30% en 1989 hasta un 15% en 1995. (BIOSA, 1995)

La figura siguiente nos muestra el comportamiento de las zonas de producción del camarón, observándose una caída estrepitosa en la producción en la Zona del Golfo. Las cifras indican que en 1993 se tenía un volumen de

captura de 41,324 toneladas, volumen bajo un 13% en 1994 para ubicarse en las 38,925 toneladas.

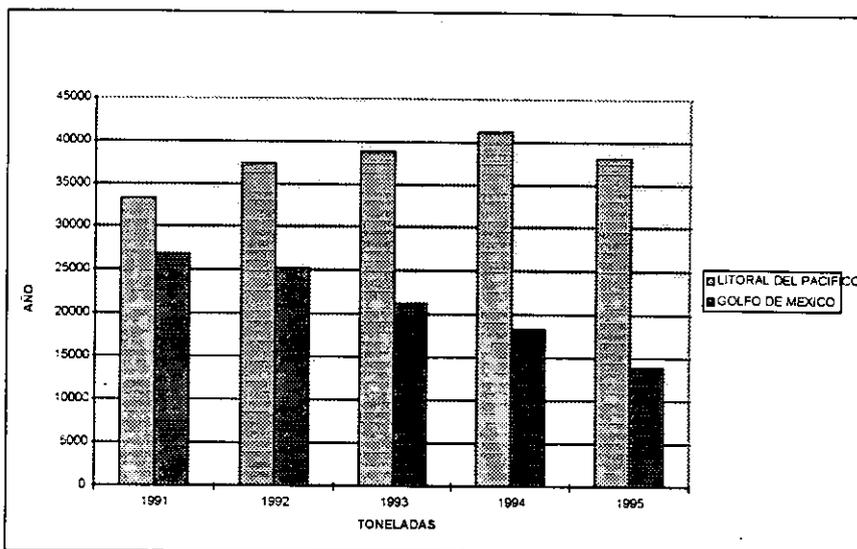


Figura 6. *Producción camaronera por zonas*. Fuente: BIOSA. Información oportuna del sector Alimentario.

Estas cifras son preocupantes, siendo estados como Campeche y Tamaulipas los que han disminuido su producción, sin observarse ninguna posibilidad de recuperación por parte de estas entidades. Pues debido a que estos estados han encaminado sus esfuerzos a la explotación de Petróleo han cuidado poco la producción de camarón.

Caso contrario son los estados de la Zona del Litoral del Pacífico los cuales han incrementado la producción. En el año de 1991 la producción de esta zona se ubicó en 33,245 toneladas y se vio incrementada en un 11 % para ubicarse en 37,385 toneladas en el año de 1992, mientras que para el periodo 1993 -1994 se observó un incremento del 5.5 %. (Figura 6). (CANAINPEZ-BIOSA,1995)

En figura 7 se puede notar claramente la disminución en la participación de los estados que se encuentran en el Golfo. (BIOSA, 1995)

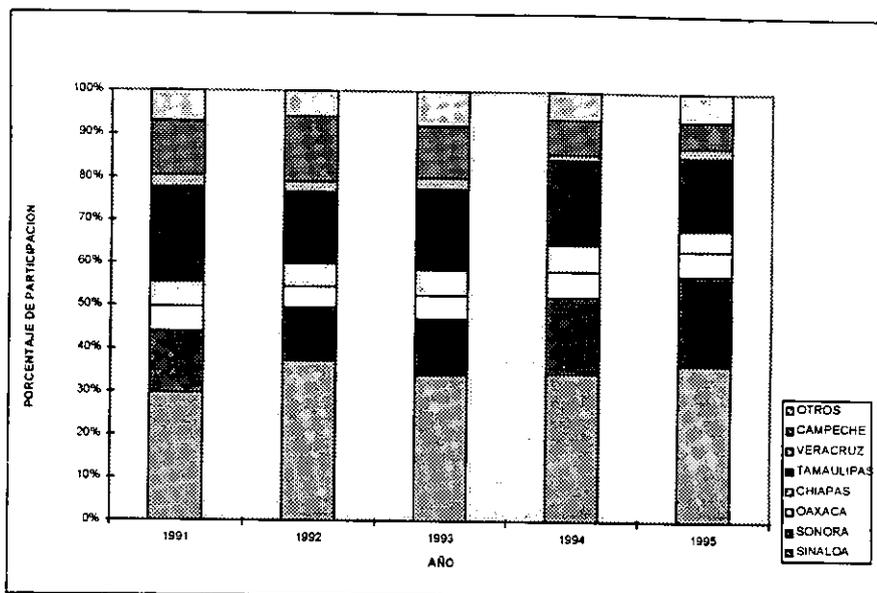


Figura 7. **Producción camaronera por Estado.** Fuente: BIOSA. Información oportuna del sector Alimentario.

Entre los Estados con mayor producción de camarón tenemos a Sinaloa y Sonora los cuales han incrementado su producción en gran magnitud. Este último ha incrementado su producción de camarón con granjas acuícolas teniendo un incremento de 200 toneladas en el año 1987 a más de 10,000 toneladas para el año de 1995 (Figura 8) (BIOSA, 1995).

Actualmente Sinaloa mantiene el 75 % en área y volumen de cosecha a nivel nacional, generando más de 6000 empleos en forma directa y aporta alrededor de 50 millones de dólares anuales, obteniendo para 1997 más de 14,000 toneladas (Simposium Internacional de Acuicultura, 1997).

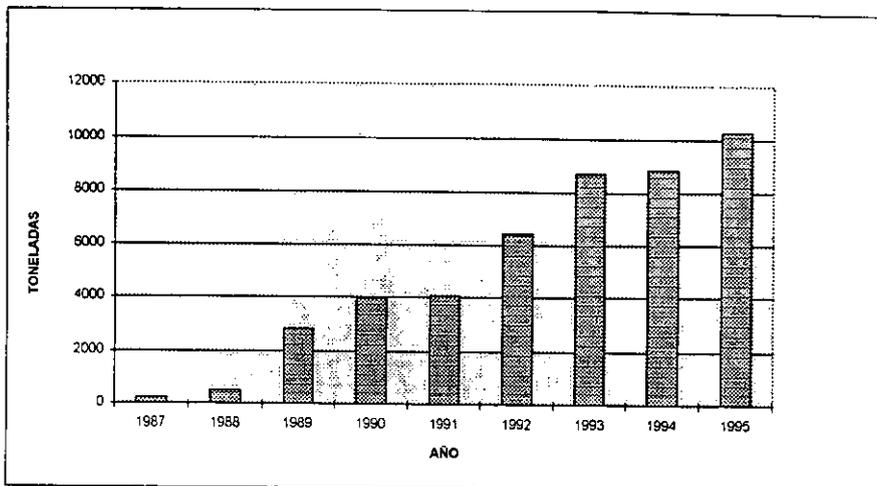


Figura 8. Producción sinaloense de camarón en granja. Fuente: BIOSA. Información oportuna del sector Alimentario.

Si analizamos el cuadro 3 en el espacio reservado para producción por acuicultura, observaremos que el camarón cultivado conserva un cuarto lugar en producción.

Actualmente el país cuenta con 231 granjas de cultivo de camarón con una superficie de 14,500 Has. de las cuales 147 son semiintensivas, 71 extensivas y el resto intensivas.

Aún y cuando en el año de 1995 se pasó de las 10,000 toneladas de camarón de granja producido, debido a una epidemia que atacó a las granjas de camarón el volumen de esta especie bajo a las 8,000 toneladas en 1996, obteniéndose valores similares en 1997 (Simposium Internacional de Acuicultura, 1997).

Nuestro país, dispone de un enorme potencial que puede ser aprovechado para el cultivo de camarón, además de una gran cantidad de empresas que lo producen. Actualmente existen alrededor de 80 productores de camarón a lo largo de las costas del Pacífico y del Atlántico, además de 40 congeladoras que se dedican a la producción de camarón de todo tipo (Blanco, Cafe, Rosado), en una gran variedad de presentaciones (Bancomext, 1998).

1.1.3 PRESENTACIONES DE CAMARON A EXPORTAR.

Las exportaciones de camarón se realizan como producto, descabezado y congelado bajo dos presentaciones: (OCEAN GARDEN, 1992)

1) El camarón del pacífico se presenta al mercado norteamericano descabezado, congelado y empacado en cajas de cartón de 5 libras (2.270 Kilos) llamadas marquetas. En tanto que a Japón se presenta en cajas con un peso neto de 2 Kg.

2) El camarón del golfo de México se descabeza, pela, desvena, y a veces, se congela en forma individual. Se presenta al mercado de EUA en cajas o bolsas de 5 kilos.

Las tallas o medidas del camarón han sido estipuladas de acuerdo a número de colas que entran en una libra; así el camarón se exporta con la codificación de: U-10, U-15, 16-20, 21-25, 26-30, 31-35, 36-41, 42-50 y en menor proporción las medidas de 50-60, 60-70 y 80-over; o sea el número de colas que entran en una libra.

Para el consumo nacional se destina el camarón de menor tamaño en las siguientes presentaciones:

- 1) Camarón grande, mediano o chico, fresco, ya sea entero o descabezado; se consume también congelado entero o desvenado y congelado.
- 2) El camarón pequeño sin cabeza, pelado y cocido se enlata en salmuera. Para este proceso se utiliza el camarón pequeño que proviene fundamentalmente de las aguas estuarinas de Sinaloa y Chiapas.
- 3) Los camarones más pequeños (80-over) de todas las especies se expenden sin cabeza, pelados y cocidos; se presentan en bolsas de plástico, refrigerados, y se venden como camarón pacotilla o pulpa.
- 4) Los camarones pequeños, que no son vendidos como pacotilla, son semiindustrializados como camarón seco o apastillado, sometiéndose a un proceso de salado, prensado y secado.

1.2 ASPECTOS DE CALIDAD EN LA CONGELACION DE CAMARON.

La forma en la que se inició la conservación por frío del camarón fue con la aplicación de hielo, en los primeros intentos de aplicación se obtenía el hielo de la superficie de los lagos congelados y se distribuía en la superficie del camarón. Ahora las exigencias sanitarias requieren que el hielo sea fabricado con agua potable o agua de mar limpia.

Existen diferentes tipos de hielo para la conservación en frío, siendo recomendada la aplicación en escamas debido a que es de fácil manejo y puede distribuirse más uniformemente, teniendo una superficie para la transferencia de calor más grande. (Zdzilaw, 1994).

Para el camarón se establece un periodo máximo de conservación en hielo, no mayor a los 5 días. Lo interesante de este hecho estriba en que en un periodo de 3-4 días de estar el camarón en hielo aparecen síntomas de descomposición que afectan el rendimiento, tales como: blandura, separación del caparazón, distanciamiento del cefalotorax, descenso del color, pérdida de jugos, etc., aún y cuando en un sentido sanitario no muy exigente este siga siendo comestible. (López Capont, 1990).

Dentro del proceso de congelación de camarón existen ciertos puntos que deben ser controlados, con el fin de mantener la calidad. La técnica más apropiada para la identificación y control potencial de peligros en el alimento procesado es el ARCPC (Análisis De Riesgo y Puntos Críticos). Concepto que fue primeramente utilizado para el control de daños microbiológicos y posteriormente para el control de daños físicos y químicos. (Mallet, 1993)

A continuación se muestra un diagrama general del proceso de congelación del camarón. En el cual se señalan los problemas, riesgos de seguridad, calidad y acciones que se recomienda seguir para llevar a cabo su control.

Algunos pasos del proceso mostrados en el diagrama pueden variar, siendo eliminados o cambiados, dependiendo del tipo de producto que se demande.

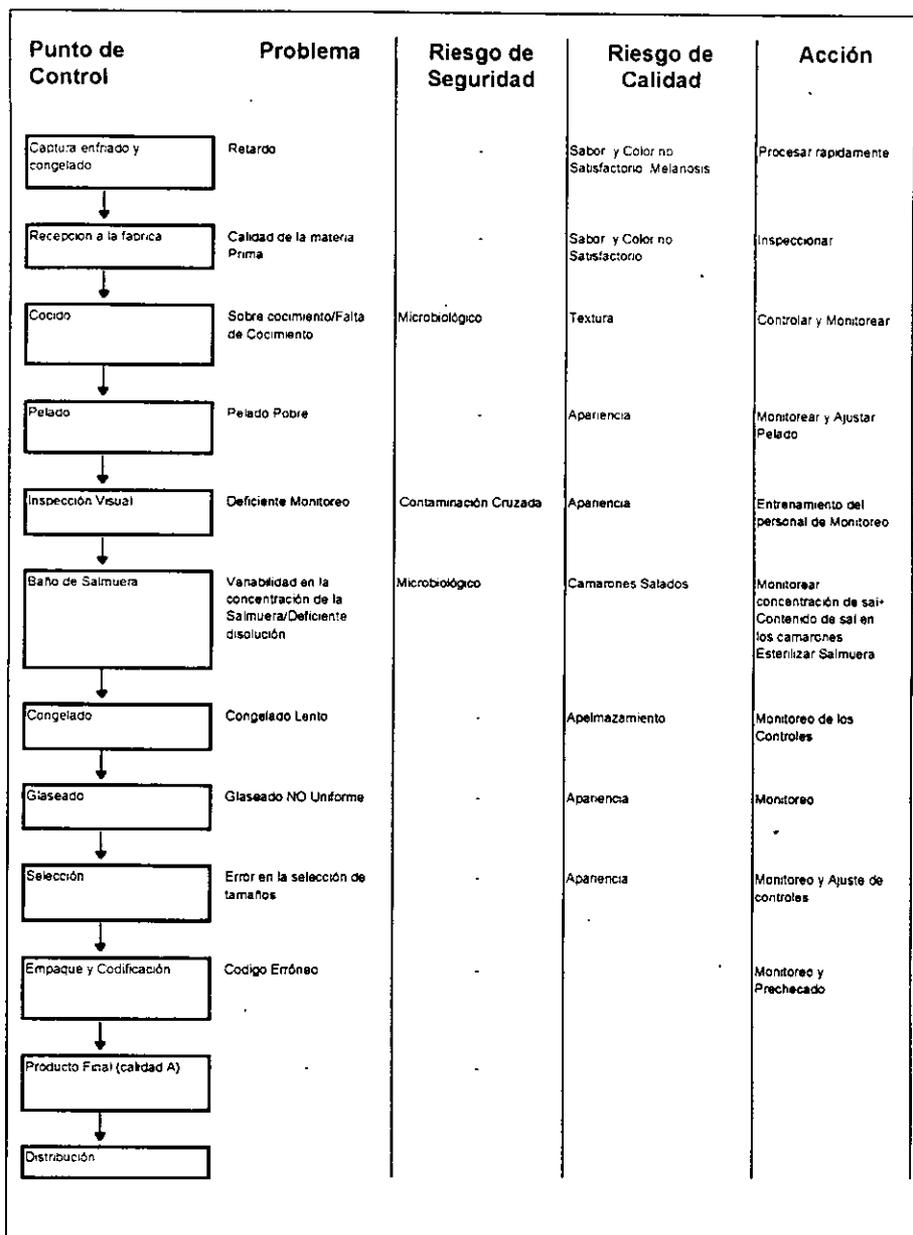


Figura 9 Diagrama del proceso de congelación del camarón. Fuente: Frozen Food Technology (1994).

1.2.1 MICROORGANISMOS PRESENTES EN EL CAMARON.

La contaminación microbiológica asociada con camarón congelado no es común. Cuando esta se presenta es atribuida a dos principales razones: que el camarón al llegar a la planta se encuentre contaminado ó se contamine durante los pasos anteriores a la congelación.

La siguiente tabla muestra los microorganismos que pueden afectar al camarón congelado. En cualquier caso, la prevención de la contaminación puede ser evitada con la compra de materia prima de buena calidad, cuidado en el control de las temperaturas de almacenamiento y la manipulación de las condiciones del producto. (Mallet, 1993)

Microorganismo	Rango de pH/Aw	Rango de Temperatura	Cuenta Máxima	Síntoma
Escherichia Coli	Crece a pH de 4.4-9.0 Crece a 0.93 a un mínimo de Aw.	10-48 °C. Optimo 37° C.	Ausencia en 1 g	Media a severa gastroenteritis.
Salmonella spp.	Crece a pH de 4.4-9.0 Crece a 0.92 a un mínimo de Aw.	5-47 °C. Optimo 35-37 °C.	Ausencia en 25g.	Gastroenteritis fiebre, diarrea y vomito.
Staphylococcus aureus	Crece a pH de 4.0-9.8 Crece a 0.86 a un mínimo de Aw	6.8-48 °C. Optimo 37-40 °C	1x10 ² por gr	Nausea vomito diarrea y dolor abdominal, pero no fiebre.
Clostridium Botulinum	Cadenas proteolíticas crecen a pH mayores a 4.6, no proteolíticas crecen a pH mayores de 5.0.	Cadenas proteolíticas 12.5-48 °C. No proteolíticas 3.5-48 °C, todas son anaerobias.	Ausencia en 1 g	Los síntomas incluyen parálisis de los músculos. La toxina debe haberse formado antes de la ingestión.

Cuadro 3. Microorganismos patógenos que pueden presentarse en el camarón. Fuente: Frozen Food Technology, 1994.

La vida de anaquel del camarón congelado depende de la calidad del producto al ser empacado, el efecto del proceso al que es sometido, y la influencia del empaque. Hay que unir a estos tres factores la temperatura a la cual el camarón es almacenado, la cual afecta el tiempo en el cual el camarón se conserva en buenas condiciones.

El cuadro que se muestra a continuación muestra las variaciones en vida de anaquel del camarón congelado sometido a diferentes condiciones de proceso, tipo de empaque y temperaturas de almacenamiento.

TIPO	TEMPERATURA	VIDA DE ANAQUEL
Camarón crudo	0° C (en hielo)	5 días
Camarón crudo en Marqueta envasada al vacío	-18 °C	6-7 meses
Camarón crudo IQF envasado en polietileno	-18 °C	3-4 meses
Camarón crudo IQF empacado al vacío	-18 °C	6-7 meses
Camarón crudo IQF empacado al vacío con 4 % de glaseado	-18 °C	8-9 meses
Camarón cocido y pelado	-12 °c	2 meses
Camarón cocido y pelado	-18 °C	5 meses
Camarón cocido y pelado	-24 °C	9 meses

Cuadro 4. Vida de anaquel del camarón a diferentes temperatura de almacenamiento. Fuente: Frozen Food Technology (1994).

1.2.2 MELANOSIS EN EL CAMARÓN.

Para el camarón su dieta principal consiste en las proteínas en descomposición del fango, esto unido a su gran carga enzimática natural, constituye la base de su alteración conocida con el nombre de melanosis (también conocido como camarón manchado, quemado, black-spot, o como es conocido en Brasil "barriga-preta").

La anatomía del camarón ayuda a la extensión de la la melanosis, pues la mancha inicia en los segmentos y corre de la cabeza a la cola. Es de gran cuidado resaltar que el camarón contiene pro-enzimas que son inicialmente inertes: fenoloxidasas que no son exclusivas del camarón, sólo que en este la enzima se activa a velocidades hasta 100 veces más grandes que en otras especies.

Aún y cuando este fenómeno ha sido estudiado desde hace unos veinte años, el mecanismo de activación e inhibición aún es desconocido en sus fases a pesar de que se ha avanzado mucho en discernir la cinética del proceso enzimático.

La composición como enzima de la fenoloxidasa en el camarón es similar a la que tiene cualquier otro pescado, pero no tiene las mismas proporciones. En el camarón los niveles de esta enzima son mucho más altos que en otras especies marinas, explicando de esta manera el porque de esta alteración, siendo el síntoma de alteración más preocupante del mercado internacional y el que tiene mayor importancia económica.

El frío, también es un método de lucha contra la melanosis. El hielo la retarda, y la conservación a temperaturas bajas es la más recomendable, por lo cual la congelación se convierte en la solución viable. La congelación retarda los efectos.

Dentro de las soluciones a la melanosis existe la que aplica la gran flota del Caribe (América Central, México, California, etc.) esta flota lleva a bordo tanques con agua refrigerada, porque la sumersión del camarón en agua fría, y la ausencia de aire reduce los efectos de la melanosis. (López Capont, 1990)

1.2.3 NORMAS DEL CAMARÓN CONGELADO

Debido a que la mayor parte de la producción de camarón en México se ve dirigida hacia el público norteamericano se ha recopilado información acerca de las normas que predominan en ese país, con el fin de tener una idea mucho más clara de cuales son los parámetros que debe de cumplir el congelado y así tener un punto de referencia acerca de cuales deben ser los requisitos mínimos que son exigidos por el mercado de los E. U..

NORMAS DE CALIDAD PARA CAMARÓN IQF, DE ACUERDO A LOS ESTÁNDARES DEL DEPARTAMENTO DE COMERCIO DE LOS ESTADOS UNIDOS

Según estos estándares el Camarón IQF puede presentar las siguientes clases de defectos. (Ocean Garden, 1992)

- a) Defectos menores.
- b) Defectos mayores.
- c) Defectos severos o serios,

A continuación se presenta una tabla de evaluación con las características y el puntaje que se le debe de dar en caso se una evaluación del grado de calidad del camarón.

DEFECTOS	MENOR	MAYOR	SEVERO	TOLERANCIA
DESHIDRATACIÓN				1
AUSENCIA	0	0	0	
LIGERA	1			
MODERADA		2		
MARCADA			4	
UNIFORMIDAD EN LA MEDIDA*				0
MENOR DE 1.5	0	0	0	
1.5 A 1.7	1			
1.75 A 2.0		2		
MAS DE 2			4	

DETERIORO				
AUSENCIA	0	0	0	0
LIGERO	1			
MODERADO		2		
MARCADO			4	
MANCHAS NEGRAS Y LIMPIEZA INAPROPIADA (% POR PESO)				0
AUSENCIA	0	0	0	
1% A 3%	1			
3.1% A 5%		2		
MAS DE 5%			4	
PEDAZOS (% POR PESO)				1
AUSENCIA	0	0	0	
1% A 2%	1			
2.1% A 3%		2		
MAS DE 3%			4	
ROTOS Y DANADOS (% POR PESO)				0
AUSENCIA	0	0	0	
2% A 4%	1			
4.1% A 10%		2		
MAS DE 10%			4	
PATAS, CÁSCARA SUELTA Y MATERIAL EXTRAÑO, PROPIO DE LA CAPTURA (% POR PESO)				1
AUSENCIA	0	0	0	
1% A 2%	1			
2.1% A 3%		2		
MAS DE 3%			4	
CABEZAS, CAMARON INACEPTABLE Y MATERIAL EXTRAÑO AJENO A LA CAPTURA (% POR PESO)				0
AUSENCIA	0	0	0	
1% A 2%	1			
2.1% A 3%		2		
MAS DE 3%			4	
INAPROPIADAMENTE PELADO Y/O DESVENADO (% POR PESO)				0
AUSENCIA	0	0	0	
1% A 6%	1			
6.1% A 10%		2		
MAS DE 10%			4	

TEXTURA				
AUSENCIA	0	0	0	0
LIGERA	1			
MODERADA		2		
MARCADA			4	
PUNTUACION MAXIMA ALCANZADA				3

Cuadro 5: Tabla de clasificación de defectos del camarón IQF. Fuente: Ocean Garden Products Inc.

*Nota : La uniformidad de medidas se determina dividiendo el peso de las diez piezas mayores entre el peso de las diez menores.

El Departamento Nacional de Pesca Marina de los Estados Unidos, tiene un servicio de inspección que califica el marisco, incluyendo al camarón. El producto es clasificado y calificado a su calidad con las letras A, B, o C.

Comercialmente el camarón clasificado como de grado A es muy apreciado, debido básicamente a su talla uniforme, prácticamente libre de defectos con excelentes condiciones de frescura y con buen sabor dependiendo de la especie. Por esto el grado A significa "la mejor calidad", alcanzando los 5 puntos de acuerdo con el cuadro anterior.

De la misma manera el grado B significa "buena calidad" localizándose en el intervalo de los 5.1 a los 9 puntos y el grado C significa "casi buena calidad", siendo el intervalo de los 9.1 a los 13.9 puntos. En la siguiente clasificación se tiene a la "subestándar", camarón no apto para la exportación y que alcanzó una puntuación mayor a los 14 puntos. El siguiente cuadro nos dará una idea más acercada de este tipo de evaluación.

DEFECTOS MENORES Y MAYORES COMBINADOS	DEFECTOS SEVEROS
GRADO A (PRIMERA). La combinación de aquellos defectos cuya suma no exceda de 5 puntos.	No debe presentar ningún defecto severo .
GRADO B(SEGUNDA). La combinación de aquellos defectos cuya suma sea de 5.1 a 9.0 puntos, no mayor	No debe presentar ningún defecto severo .
GRADO C(COMERCIAL). La combinación de aquellos defectos cuya suma sea de 9.1 a 13 puntos.	Podrá presentar un sólo defecto con la característica de marcado, esto es el defecto represente 4 puntos.
GRADO SUBESTANDAR. La combinación de aquellos defectos cuya suma sea igual o mayor de 14 puntos. Este grado se clasifica como de "No Exportación"	Cualquier combinación de 2 o más defectos severos cuya suma sea de 8 puntos.

Cuadro 6. Límites de tolerancia para varios defectos de camarón IQF. Fuente. Ocean Garden Products. Traducido de US Grade Standards

1.3 CONGELACION DE ALIMENTOS.

El tratamiento de productos alimenticios mediante congelación constituye un medio eficaz para mantener durante un largo tiempo y casi inalterables las características originales de muchos alimentos. La capacidad de conservación de un producto congelado es muchas veces superior a la del mismo producto mantenido en refrigeración.

La formación de hielo por el proceso de congelación inhibe la actividad bacteriana y ejerce un efecto letal sobre algunos microorganismos.

Determinadas bacterias psicotrófilas pueden crecer incluso a temperaturas inferiores a los 0°C aunque con una velocidad menor a la registrada en tejidos sin congelar. La temperatura de crecimiento más baja registrada para este tipo de bacterias es de -10°C.

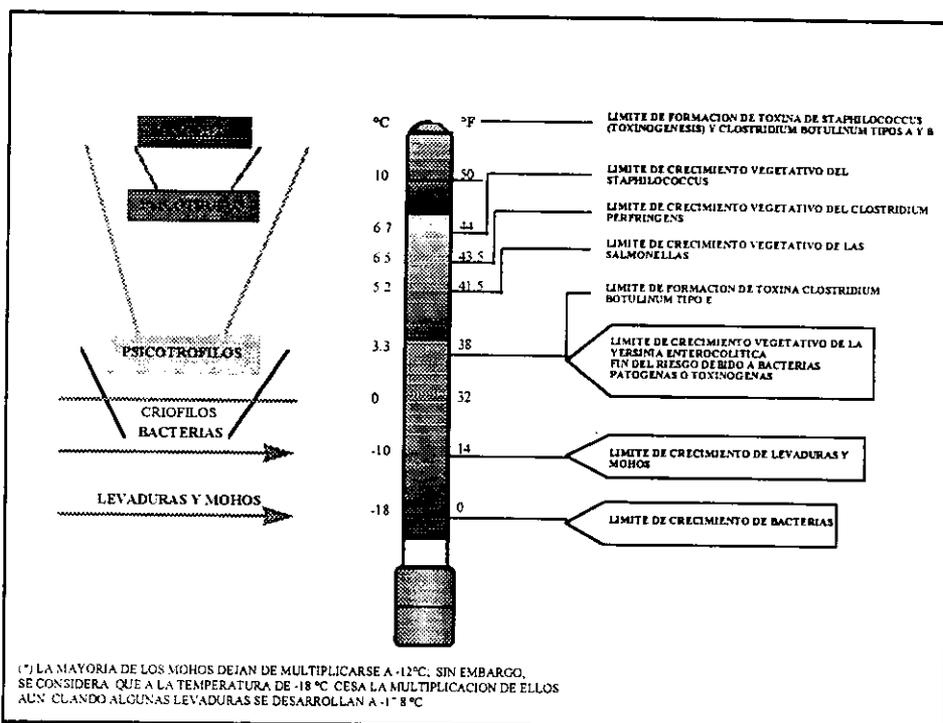


Figura 11. Acción de la temperatura sobre los microorganismos. Fuente: Alimentos Congelados Procesados y Distribución. Instituto Internacional del Frío. 1990

Algunos mohos y levaduras a temperaturas tan bajas como -15°C ó -18°C . El efecto letal de la congelación y del depósito en ambiente congelado es más apreciado entre los -4°C y -10°C , pues es en este periodo en donde se lleva a cabo la mayor mortandad de microorganismos. (Zdzislaw, 1994)

La reducción del número de microorganismos vivos es muy acusada en la congelación, disminuyendo la microflora del alimento a su nivel mínimo y deteniendo la reproducción de otros. Sin embargo, después de descongelar los microorganismos sobrevivientes encuentran mejores condiciones para proliferar que en el pescado normal, debido a que disponen del agua de goteo producida por el descongelado y a los cambios en textura originados en el alimento como consecuencia del congelado/descongelado.

La resistencia de los microorganismos a la disminución de la temperatura difiere: las células de levaduras vegetativas, los mohos y las bacterias no resisten las bajas temperaturas (coliformes y salmonellas). En cambio las esporas de mohos y bacterias (*Bacillus* y *Clostridium botulinum*) las resisten muy bien.

En resumen la congelación mantiene durante un largo tiempo y casi inalterables, las características de productos perecederos gracias a una serie de procesos entre los que encontramos: el descenso de la temperatura del producto, la disminución en la velocidad de las reacciones enzimáticas, y la inhibición de la actividad microbiológica.

Además en la congelación se reduce gran parte el agua del producto al ser la mayoría de transformada en hielo y puesto que el agua interviene en todos los procesos vitales como solvente de aniones, cationes, y una gran cantidad de sustancias orgánicas solubles, su reducción, reduce el grado de movilidad de las moléculas y su capacidad de reacción. (Sánchez, 1994)

1.3.1 FASES DE LA CONGELACIÓN.

Para llevar a cabo la congelación de un alimento es necesario retirarle cierta cantidad de calor. Este calor extraído es el calor sensible antes del punto de congelación, el calor latente de solidificación y el calor sensible después de el punto de congelación.

El retiro del calor sensible permite antes del punto de congelación permite la disminución de temperatura del alimento hasta alcanzar el punto de congelación. Después es retirado el calor latente, siendo el calor más grande a extraer del alimento, y provocando el cambio de estado del agua del alimento de líquido a sólido.

Por último existe el retiro del calor sensible después del punto de congelación, provocando una disminución de temperatura hasta alcanzar la temperatura del congelador. (Fellows, 1992).

En la congelación de agua se observan seis fases. (Figura 12)

Fase 1 (A-B).

En esta fase existe un descenso de la temperatura inicial del agua hasta una temperatura ligeramente inferior al punto de fusión (0°C), la cual puede llegar a ser hasta 10°C por debajo del punto de congelación. El agua permanece líquida a una temperatura inferior a 0°C antes de llegar al punto de fusión. Este abatimiento de la temperatura es debido a que el alimento cede calor a los cristales con el fin de realizar la nucleación.

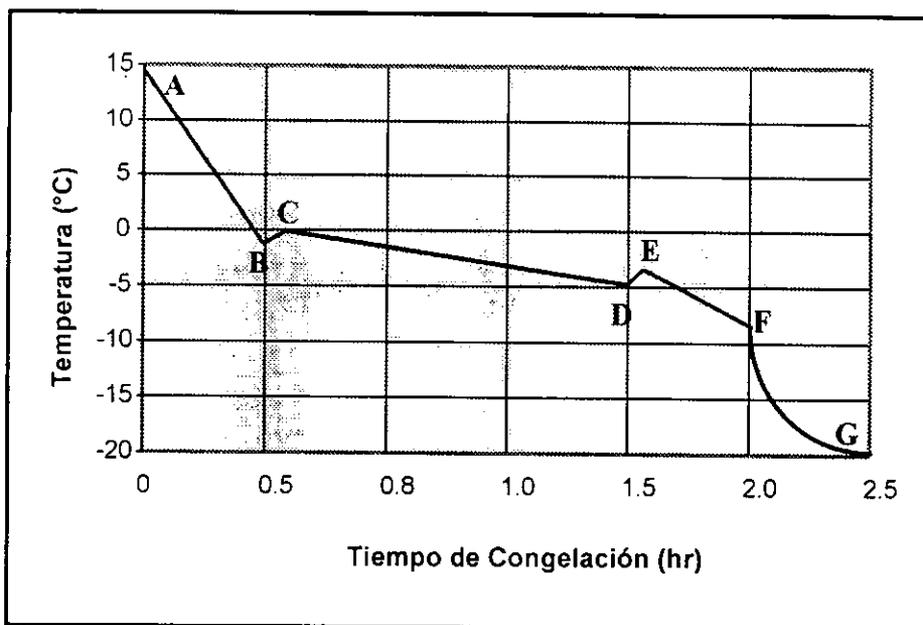


Figura 12. Fases de la congelación en un alimento. Fuente: Gruda, Z. . Tecnología de la congelación de alimentos. 1973.

Fase 2 (B-C).

Nucleación. La nucleación consiste en la formación de pequeños cristales de agua alrededor de los cuales se ordenan las demás moléculas para la formación de cristales más grandes. La temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar el punto de congelación. Al irse formando los cristales de hielo se libera el calor latente de congelación a una velocidad superior a la que es extraída del alimento.

Fase 3 (C-D).

Fase de temperatura constante. Aquí la temperatura es mantenida más o menos constante en el punto de congelación de el alimento y sólo el calor latente de cambio de estado es absorbido por el medio refrigerante, encontrándose el agua en un equilibrio líquido-hielo, siendo en esta fase donde se forma la mayor parte del hielo .

Existe un incremento de la concentración de solutos en la fracción de agua no congelada provocando un descenso del punto de congelación y un descenso en temperatura.

Fase 4 (C-D).

Una vez completado el cambio de estado, el enfriamiento del hielo ocurre a una mayor velocidad puesto que la conductividad térmica del agua ha aumentado cerca de 3 veces su valor original con el cambio de estado. La temperatura del hielo decrece en forma rápida, hasta alcanzar la temperatura eutéctica del producto.

Fase 5 (D-E).

La cristalización del agua y solutos continúa . El tiempo total de congelación se halla determinado por la velocidad a la que el calor se extrae.

Fase 6 (E-F).

La temperatura de la mezcla de agua y hielo desciende hasta alcanzar la del congelador. el porcentaje de agua congelada en sistemas de congelación comerciales depende de la composición del alimento y la temperatura a la cual es almacenado. (Fellows, 1992)

En los alimentos no aparece el agua nunca en estado puro, sino en forma de solución; por añadidura una parte del agua se encuentra firmemente ligada en las estructuras de sacáridos, polisacáridos y proteínas. Estos hechos influyen esencialmente sobre las propiedades físicas del agua y también sobre el proceso de congelación, pues una parte del agua esta tan unida que no se congela nunca, ni siquiera a temperaturas muy bajas.

La siguiente gráfica demuestra que aún y cuando la temperatura disminuye en gran medida el porcentaje de agua, la disminución a partir de los - 35 °C no es mayor al 5 %, por lo cual los esfuerzos por tratar de disminuir la temperatura a un nivel mayor no tienen sentido. Además se puede observar que aún y cuando se baje en un gran margen la temperatura siempre va existir una cantidad de "agua ligada", agua que esta formando una monocapa con las estructuras y que no puede ser congelada. (Gruda,1973)

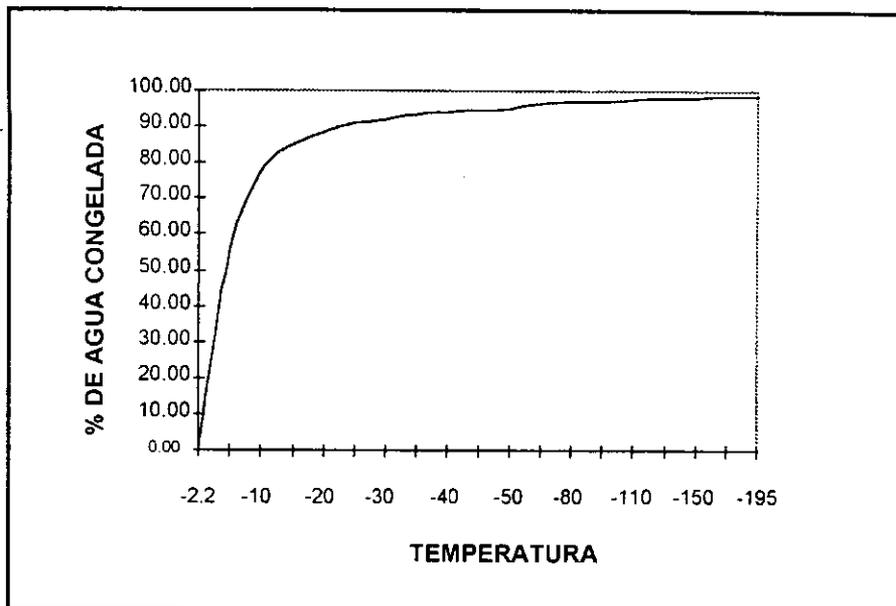


Figura 13. Fracción de agua congelada en alimentos con alta humedad durante el proceso de congelación. Cleland, R.T.,1998

1.3.2 VELOCIDAD DE CONGELACIÓN Y FORMA DE LOS CRISTALES DE AGUA.

La velocidad a la cual se lleva la congelación determina en gran manera la calidad del alimento al momento de la congelación, en la siguiente figura se realiza una comparación entre diferentes métodos de congelación y sus tiempos de congelación. (Figura 14)

A continuación se describen los fenómenos que aparecen a diferentes velocidades de congelación.

Congelación lenta. En velocidades bajas de congelación el agua presente en la solución forma cristales grandes que comienzan a producirse a partir de un núcleo de cristalización. La presión de vapor de los cristales de hielo en el exterior es inferior a la del interior de la célula, por lo que el agua pasa de la célula a los cristales, haciéndolos más grandes.

En el interior de la célula sólo queda el agua ligada. El agua sale por difusión de las células y en los espacios intercelulares se solidifica en grandes cristales de hielo, incrementando la presión osmótica extracelular provocando la deformación de las células.

Congelación rápida. Cuando se aumenta la velocidad de congelación crece el número de núcleos de cristalización, a la vez que disminuye el tamaño de los cristales de hielo. La congelación comienza igual que en la congelación lenta en los espacios intercelulares, pero el agua se difunde tan lentamente hacia el exterior de las células, que se llegan a formar cristales tanto en el interior como en el exterior, deformando menos a las células.

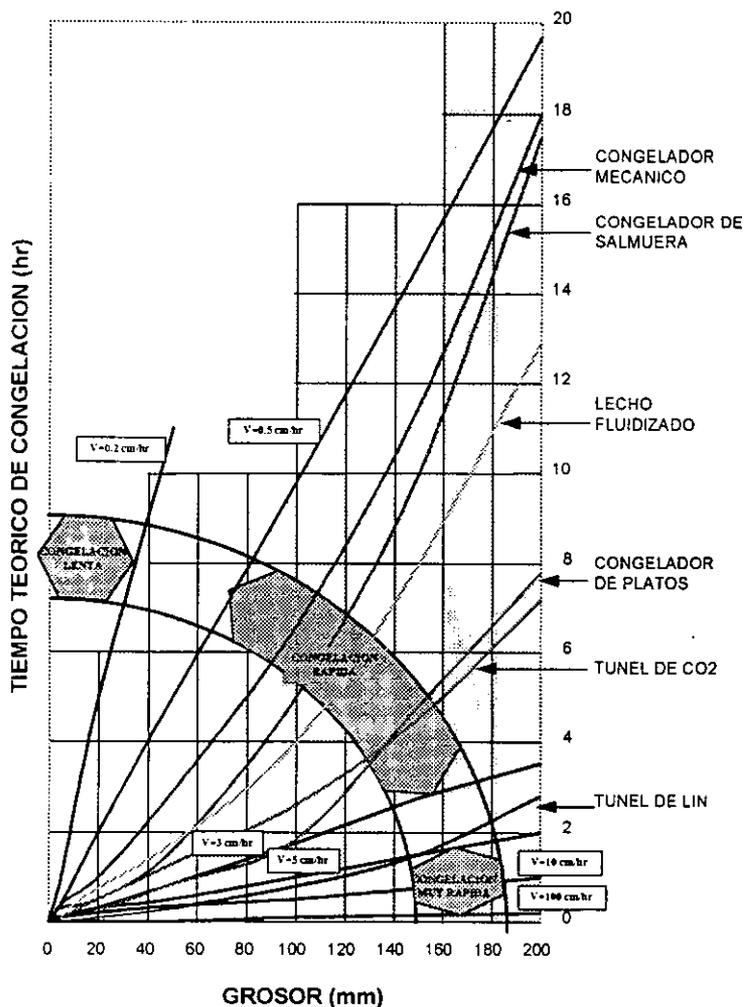


Figura 14. Comparación de los tiempos de congelación en diversos sistemas. Fuente Instituto Internacional Del Frio, 1989

Congelación muy rápida.

Los cristales de hielo que se forman, tanto en el interior como en el interior de la célula como en los espacios intercelulares, son de menor tamaño, por lo que la estructura apenas y resulta dañada. Tampoco se forma un gradiente de vapor, por lo que la deshidratación celular no se produce. Teniendo que la estructura del alimento apenas y es dañada. (Fellows,1992) y (Gruda,1973)

La velocidad de enfriamiento de una solución además de influir sobre el número de núcleos también influye en la forma de los cristales de agua (Gruda,1973):

Cristales regulares hexagonales. Los ejes de cristalización que parten de un núcleo de cristalización forman entre sí ángulos de 60°, este tipo de cristales se forman durante congelaciones muy lentas.

Dentritas irregulares. Este tipo de cristales se forman con velocidades de congelación medias y elevadas, y de este tipo de cristal no sólo salen 6 ejes en la formación del cristal como en el anterior sino más, cada uno con diferentes ángulos de formación, este tipo de cristales dañan la estructura de la pared celular y la rompen.

Cristales esféricos. Se producen cuando las velocidades de congelación son muy rápidas y ultrarápidas, de los núcleos de hielo parten agujas muy finas de hielo las cuales en su forma exterior constituyen una esfera. Aumentando aún más esta velocidad de formación estas agujas se hacen más delgadas y el cristal acaba por volverse transparente.

Se ha comprobado que durante la congelación con nitrógeno líquido el 90% de los cristales de hielo se forman dentro de las células y que sólo se provoca un leve daño en el tejido, mientras que en la congelación normal cerca del 70 % del tejido es dañado.

En la congelación normal los cristales de hielo alcanzan tamaños de 2 a 10 μm . en lapsos de 15 a 20 minutos con los cristales de mayores dimensiones dentro de las células. Mientras en la congelación con nitrógeno líquido se forman cristales con diámetros de 20 a 30 nm, contenidos exclusivamente en el interior de las células. (Gruda,1973)

1.3.3 EFECTOS DE LA CONGELACIÓN DEL AGUA EN LA CALIDAD DEL ALIMENTO.

Los cambios que se originan por la congelación pueden ser muy variados y una de las consecuencias más destacadas durante este proceso es el cambio de las propiedades de la membrana celular. Esta pierde su permeabilidad y tras el descongelado carece de turgencia. El tejido aparece laxo y se produce salida de jugo. Además de ser muy frecuente que el tejido resulte dañado mecánicamente por los cristales de hielo.

Daño por deshidratación. Debido a las propiedades permeables de la pared celular, durante la congelación se produce la sustracción de agua de la célula. Esto es porque al comenzar la congelación el líquido en el interior de las células se convierte en hipertónico (pues contiene una concentración de solutos menor que en el exterior) y el agua tiende a difundirse hacia los espacios intercelulares, donde es congelada.

El curso del proceso de congelación depende en gran medida de la velocidad de congelación, cuando esta es lenta, la deshidratación se ve encaminada hasta la extracción de toda el agua libre, y dentro del interior de la célula sólo queda el agua ligada. Así que todo el hielo aparece en el exterior de las células siendo esto muy predominante en los tejidos animales. Cuando la congelación es muy rápida los cristales de hielo se forman en el interior de la célula, quedando de esta manera la mayor parte del agua dentro de esta.

Cuando la formación de hielo se realiza en la parte externa de las células, al descongelar se puede provocar una salida de jugo celular, debido a que le dificulta a la célula la reabsorción del líquido que fue difundido hacia el exterior, ya que su pared celular fue desnaturalizada durante el proceso de congelación. (Gruda, 1973)

Aumento de volumen. El agua por naturaleza tiende a aumentar de volumen (alrededor del 9 % al congelarse), pero en los alimentos el aumento de volumen es en promedio de sólo un 3%, y esto es resultado de que el alimento no es formado tan sólo de agua, sino que contiene otros componentes y huecos de aire en los espacios intercelulares.

Cuanto más rápida es la congelación y mayor la diferencia de temperatura entre la capa externa e interna, mayor es el aumento de la presión interna de los productos congelados.

El aumento de volumen en los alimentos origina un incremento en la presión interna provocando acciones mecánicas sobre la célula lo que puede llegar a reventar el alimento. Esto se puede observar particularmente en los alimentos que son congelados con nitrógeno líquido, pues la presión interna llega a ser muy alta. (Fellow, 1992)

Alteraciones químicas y bioquímicas. Existen estudios que han demostrado que las modificaciones química y bioquímicas que son observados en los alimentos durante la congelación son debidas principalmente a la concentración de los jugos celulares debida a la transformación del agua a hielo provocando una concentración de los sólidos, incremento en pH y modificaciones en el agua ligada a las sustancias de las célula. (Fellow, 1992)

A medida que desciende la temperatura, disminuye la cantidad de agua libre, pero aumenta la concentración del líquido. La intensidad de las reacciones bioquímicas, que es función de ambos factores, alcanza su punto máximo en un punto determinado que en la mayoría de los alimentos se ubica en un periodo comprendido entre (-2 a -5 °C), y por ello es recomendable pasar por esta zona lo más rápidamente posible.

Los componentes de los alimentos químicamente estables no sufren alteraciones esenciales y en la mayor parte recuperan su estado inicial después de descongelarse. Entre estos se cuentan sales minerales, azúcares, ácidos orgánicos y algunos otros componentes.

Las alteraciones más desfavorables por congelación se observan en la fracción de proteína del producto congelado. Estas alteraciones obedecen a procesos todavía no estudiados a profundidad. Se ha relacionado esto con la coincidencia de la zona de máxima dinámica de las transformaciones por desnaturalización con la zona de máxima formación de cristales a partir de los líquidos celulares siendo las proteínas de productos marinos los que más se ven afectados por este tipo de alteraciones y su desnaturalización se refiere sobre todo a las fracciones de actinmiosina, con ausencia simultánea de modificaciones en las proteínas del sarcoplasma.

Las alteraciones en algunas proteínas son debidas principalmente a que estas no tienen gran afinidad por el agua, así que cuando se produce el fenómeno de cristalización durante la congelación, se forman agregados. Las proteínas estables tienden a conservar su forma nativa porque retienen el agua ligada suficiente como para conservar su forma aún después del congelado.

En los productos marinos las alteraciones son debidos a que la actina y la miosina forman un agregado en el cual la actina conserva su propiedades

casi intactas, mientras que la miosina conserva parte de su estructura nativa, provocando estas alteraciones una escasa solubilidad en las soluciones iónicas. Además de que durante el almacenamiento se originan algunas uniones primarias estables entre actina y miosina (uniones amídicas o enlaces tipo -S-S y -C-C). (Zdislaw, 1994)

Daño mecánico por cristales de hielo. Los cristales de hielo son duros y esencialmente indeformables. Los componentes de la célula más flexibles pueden ser rotos y en las regiones donde el hielo está presente las paredes celulares están faltas de flexibilidad y el hielo puede causar un incremento en la concentración de fuerza, resultando en daño mecánico en la célula.

La figura popular de que los cristales se incrustan en las paredes de la célula como una lanza son erróneas, pues el hielo crece por adición de moléculas de agua a su superficie. Las paredes de la célula que cuentan con cierta flexibilidad dejan crecer al cristal en cierta medida, sin embargo la deformación de la pared no es reversible, dejando daños cuando el alimento se ve en un proceso de descongelación.

Así por este mecanismo el hielo formado dentro de las células evita que estas alcancen la forma original y por lo tanto incrementa el nivel, pues se pueden formar grandes cavidades en las células después de el descongelado (Mallet, 1993).

1.3.4 Generalidades de transferencia de calor en congelación.

1.3.4 1 Mecanismos de transferencia de calor

En la congelación es importante conocer el tiempo en el cual esta se llevará a cabo. El estudio de la transferencia de calor nos auxilia a entender los mecanismos de transferencia, a través del desarrollo de relaciones analíticas para calcular las velocidades de transferencia de calor. (Kakaç, 1993).

En este apartado se proporciona una revisión de los procesos de transferencia de calor que se llevan a cabo durante la congelación.

Una de las características de la mayoría de los gases criogénicos es que se comportan como fluidos clásicos. Esto es su comportamiento sigue los principios establecidos por la mecánica y la termodinámica, los conceptos fundamentales del comportamiento de los fluidos están basados en las leyes clásicas de la física y pueden ser manejados en forma similar a los no criogénicos. Acorde con esto las correlaciones de transferencia de calor puede ser formuladas en términos de los números adimensionales Nu, Re, Pr, Gr, y L/D. (Clark, 1968)

Los mecanismos por los cuales el calor es transferido son varios y generalmente no se llevan a cabo aisladamente. Existen tres mecanismos principales de transferencia, estos son:

- Conducción
- Convección
- Radiación

CONDUCCIÓN

Es el proceso de transferencia de calor por movimiento molecular, auxiliado en algunos casos por el flujo de electrones libres y vibraciones laterales a través de un cuerpo (sólido, líquido y gaseoso) de una región de alta temperatura a una región de baja temperatura. La transferencia de calor por conducción toma lugar a través de la interface entre dos cuerpos en contacto cuando ellos se encuentran a diferentes temperaturas.

El mecanismo de calor por conducción en líquidos y gases ha sido postulado como la transferencia de energía cinética del movimiento molecular. La energía térmica transferida a un fluido aumenta su energía interna por el incremento de la energía cinética de la vibración de sus moléculas, midiéndose este en la elevación de temperatura.

La transferencia por conducción es aquella transferencia de energía cinética de las moléculas más activas en la región de temperatura más alta por colisiones sucesivas a las moléculas en la región de baja energía molecular.

La conducción es el único mecanismo por el cual el calor puede fluir en sólidos opacos. Así con gases y líquidos, si no existe movimiento del fluido, el mecanismo de transferencia de calor será por conducción (y, si no es notable, por radiación). El proceso de transporte de energía por el efecto combinado de conducción por calor (y radiación) y el movimiento del fluido es referido a una transferencia de calor por convección.

Aunque se ha clasificado a la convección como un modo de transferencia de calor, esta es de hecho una conducción (y radiación) en fluidos en movimiento. La distribución de temperatura en el medio es controlada por el efecto combinado de los tres procesos de transferencia (conducción, convección y radiación). Asimismo no es posible aislar un sólo proceso de las interacciones con los otros. (Kakaç,1993)

Ley de Fourier

Considerando una placa plana de grosor L tal que las otras dos dimensiones (largo y ancho) son muy grandes en comparación a esta, A su superficie, y T_1 y T_2 las temperaturas de sus superficies. Si existe una diferencia de temperaturas entre T_1 y T_2 , de la segunda ley de la termodinámica se puede saber que la dirección del flujo es de más alta temperatura a más baja temperatura. Acorde con la primera ley bajo condiciones estables este flujo de calor será a una velocidad constante.

Experimentos con diferentes sólidos, muestran que la velocidad de flujo de calor Q es directamente proporcional a la diferencia de temperaturas $T_1 - T_2$ y el área superficial A y es inversamente proporcional al grosor L , esto es:

$$Q = -KA \frac{(T_2 - T_1)}{L}$$

La constante de proporcionalidad positiva (K) es llamada la conductividad térmica del material de la placa, definiéndose en estado estable con la fórmula.

$$-K = \frac{LQ}{(T_2 - T_1)A}$$

Un medio se dice que es homogéneo si su conductividad térmica no varía de un punto a otro dentro del medio y heterogénea si existe. Los materiales con estructura porosa, tales como maíz y vidrio son ejemplos de medios heterogéneos.

Si el material del plato es heterogéneo, entonces K se representará con la conductividad térmica media en el grosor de la placa y K será la conductividad térmica local a una distancia x . La cantidad de calor por unidad de tiempo es llamado *flux de calor*, cuyas unidades están dadas en Watts/m². Siendo

$$\frac{Q}{A} = -K \frac{\partial T}{\partial x}$$

Esta ecuación puede ser interpretado como la conducción de un medio estable donde hay un gradiente de temperatura negativo dT/dx a una posición x . Esto es, si el gradiente de temperatura es negativo, entonces el flujo de calor es positivo y en el contrario cuando el gradiente es positivo, entonces el flujo de calor es negativo. (Kakaç, 1993)

Ley de enfriamiento de Newton.

La convección ha sido definida como el proceso de transporte de calor en un fluido por la acción combinada de la conducción de calor (y radiación) y movimiento de un fluido macroscópicamente. Es un mecanismo de transferencia de calor, en el cual no sólo es importante la transferencia entre moléculas del fluido, también entre el fluido y una superficie sólida cuando están en contacto.

Las partículas de fluido pegadas a la superficie tienen una velocidad 0 relativo a la superficie. Estas partículas de fluido (con temperatura T_w) unidas a la pared (con temperatura T_∞) se encuentran en estado estacionario en la superficie y son estancadas como resultado de la fuerzas de viscosidad entre las partículas del fluido.

Si $T_w > T_\infty$, entonces el calor fluirá del sólido a las partículas del fluido en la superficie. La energía transmitida incrementará la energía interna de las partículas del fluido (calor sensible) y será acarreada por el movimiento del fluido.

En 1701 Newton expresó el flujo de calor de una superficie sólida a un fluido por la ecuación:

$$Q = -h(T_w - T_\infty)$$

Donde h es el llamado *coeficiente convectivo de transferencia de calor*, conductividad de película, o coeficiente de película, esta ecuación es también llamada ley de enfriamiento de Newton, de hecho no es una ley, pero es una ecuación que define al coeficiente de transferencia de calor. El coeficiente convectivo de transferencia de calor, tiene las unidades $W/(m^2 \cdot K)$, en el sistema internacional.

Si el movimiento del fluido envuelto en el proceso, es forzado por medios externos tales como una bomba, soplador o ventilador, entonces el proceso se refiere a una conversión forzada.

Si el movimiento del fluido es causado por alguna fuerza dentro del sistema, tal como aquellas resultantes de los gradientes de densidad cercanos a la superficie es llamada convección natural (o libre). Ciertos procesos de transferencia de calor convectiva en adición al calor sensible de almacenamiento pueden también involucrar calor latente de almacenamiento debido al cambio de fase. Evaporación y condensación son los dos casos.

El coeficiente de transferencia de calor, es una función complicada de las condiciones de flujo, propiedades termofísicas (viscosidad, conductividad térmica, calor específico y densidad) del fluido, además de la geometría y dimensiones de la superficie. Su valor numérico en general no es uniforme sobre la superficie. (Kakaç, 1993).

1.3.4 2 Propiedades térmicas

Conductividad termica (K)

La conductividad térmica es una propiedad termofísica y es definida como la velocidad de transferencia de calor a través de un área por unidad de grosor debido a la diferencia de temperaturas.

La conductividad térmica de un material depende de su composición química, estructura física y estable. Esto también varía con la temperatura y la presión del material en cuestión. En la mayoría de los casos sin embargo la conductividad térmica es mucho menos dependiente de la presión que de la temperatura. La variación de conductividad térmica con la temperatura puede ser desechada cuando el rango de temperatura en consideración no es tan grande o la dependencia de la conductividad en la temperatura no es tan severa.

La conducción en gases y vapores, depende principalmente en la transferencia molecular de energía cinética de las moléculas en movimiento. Esto es, la conducción de calor es la transmisión de energía cinética por las moléculas más activas en las regiones de alta temperatura a las moléculas de regiones de energía cinética molecular baja, por colisiones sucesivas.

Acorde a la teoría cinética de gases, la temperatura de un gas es proporcional a la energía cinética media de sus moléculas constituyentes. Esto es, a mayor velocidad de las moléculas, mayor será la transferencia de energía. Implicando que la conductividad térmica de un gas deberá ser dependiente de su temperatura. (Kakaç, 1993).

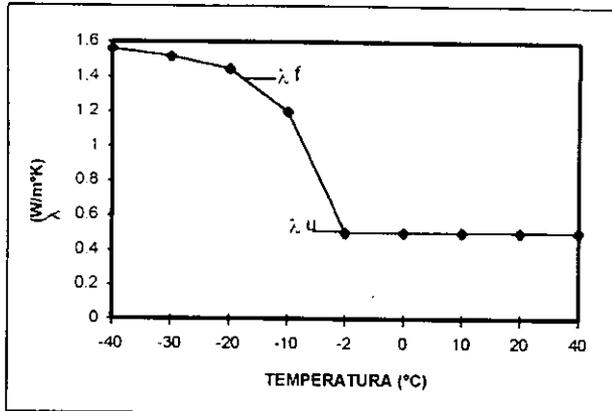


Figura 15. Conductividad térmica de alimentos con alta humedad. humedad durante el proceso de congelación. Cleland, R.T., 1998

Difusividad térmica

Cuando en una sustancia no existe generación interna de calor y además es isotrópica homogénea, k es constante y la ecuación de conducción de calor se reduce a

$$\nabla^2 T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}$$

Donde α es llamada difusividad térmica de la sustancia, y es igual a $k/\rho C_p$, donde ρ es la densidad de la sustancia y el C_p es su calor específico. La ecuación anterior es también llamada la ecuación de Fourier-Biot. La difusividad térmica es una propiedad termofísica. Sus unidades son m^2/seg .

La distribución de temperatura en estado estable con conductividad térmica constante y sin fuentes internas de generación de calor, no depende de las propiedades térmicas del medio, sino que es determinada solamente por la forma del cuerpo y las distribuciones de temperatura a lo largo de sus límites.

Un valor alto de difusividad térmica puede ser resultado de un alto valor de conductividad térmica, lo cual indica una velocidad grande de transferencia de energía o puede venir de un valor bajo de capacidad térmica, lo cual significa que menos energía térmica se moverá a través del medio y será absorbida para incrementar la temperatura, además más energía estará disponible para transferencias posteriores. (Kakaç, 1993)

Punto Inicial de congelación.

Puede definirse como la temperatura a la cual se inicia el cambio de fase líquida a fase sólida, este parámetro varía en función de la composición del alimento. Para el camarón se encuentra aproximadamente a los $-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($28\text{ }^{\circ}\text{F}$) y es el punto que nos señala el comienzo de la fase 3 o eliminación de calor latente. Este valor para alimentos se puede obtener de tablas proporcionadas por investigadores que han determinado su valor de una forma aproximada.

C_p arriba del punto de congelación. (C_u)

Es la capacidad calorífica de un alimento por arriba del punto inicial de congelación.

Un valor aproximado puede obtenerse con la fórmula de Charm:

$$C_u = 0.8 \times (\% \text{agua}/100) + 0.2$$

Calor latente. (L)

Es el calor necesario para llevar a cabo el cambio de fase en un alimento.

Un valor aproximado puede obtenerse con la fórmula de Charm:

$$L = 80 \times (\% \text{agua}/100)$$

C_p debajo del punto de congelación. (C_f) Es la capacidad calorífica de un alimento por abajo del punto inicial de congelación.

Un valor aproximado puede obtenerse con la fórmula de Charm:

$$C_f = 0.3 \times (\% \text{agua}/100) + 0.2$$

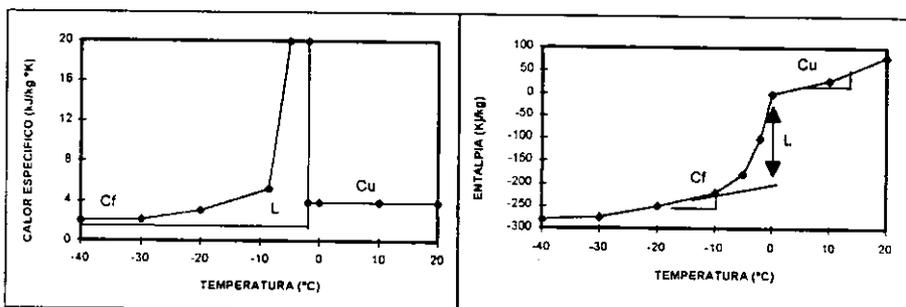


Figura 16. Comportamiento del Calor latente y Entalpía de alimentos con alta humedad durante el proceso de congelación. Cleland, R.T., 1998.

1.4 METODOS DE CONGELACION

1.4.1 CONGELACION POR SISTEMAS MECANICOS

El sistema de refrigeración por compresión de vapor es el más común en la ingeniería de refrigeración. Su ventaja en comparación con otros tipos de sistemas de refrigeración son los diseños compactos de los elementos del sistema, sus altos coeficientes de proceso, su viabilidad, seguridad y flexibilidad de operación, la relativa simplicidad de su mantenimiento y su razonable precio.

Existen algunas dificultades con la seguridad durante la operación, pero ellos pueden ser evitados con la apropiada selección de materiales y el mejoramiento del equipo, además de la correcta selección de un refrigerante con características de no corrosivo, no flamable y no explosivo.

Los sistemas de refrigeración por compresión de vapor operan con un refrigerante el cual cambia a líquido sobrecalentado, saturado y vapor húmedo. Diferentes tipos de compresores son utilizados en tales sistemas. Los que cuentan con pequeñas o moderadas capacidades usan un sistema reciprocante, de pistón o en algunos casos compresores de tornillo. Aquellos con grandes capacidades usan turbo compresores o compresores de tornillo.

La selección de un sistema de congelación de cualquier clase, involucra ante todo una evaluación del costo que se tendrá al procesar nuestro alimento. Es por esto que para el camarón, al ser una alimento de muy alto valor agregado, se deben de tener en mente los costos de inversión y de congelación, pues dependiendo de que tan grande o pequeño sea su costo, los inversionistas seleccionarán el sistema de congelación.

Además de este parámetro también se deben de tener en cuenta la calidad, puesto que los diferentes tipos de congelación mecánica nos dan diferentes calidades, así pues dependiendo de las exigencias del mercado al cual se quiere distribuir nuestro producto seleccionaremos el sistema más adecuado.

1.4.2. EQUIPO UTILIZADO EN LA CONGELACIÓN MECÁNICA DE CAMARÓN.

Los equipos para la disminución de la temperatura pueden ser divididos en: por contacto indirecto (por chorro de aire) y por contacto directo dependiendo de la forma en que se lleva a cabo el proceso de congelación del alimento. Aquí se verán los equipos que pueden ser utilizados en la congelación del camarón.

1.4.2.1. CONGELADORES POR CONTACTO INDIRECTO.

El aire es el medio más común para la transferencia y es por esta razón que se han desarrollado algunos diseños. Un cuarto de almacenamiento de congelados no debe ser tomado como un congelador aún y cuando se usa muchas veces para este propósito, el congelar en este tipo de cuartos encierra desventajas entre las que encontramos el daño que se le puede hacer al producto, debido a su congelación extremadamente lenta.

Sistemas Batch.

Cuartos de Congelación.

Básicamente un congelador es un cuarto frío que ha sido especialmente construido y equipado para operar a bajas temperaturas de congelado. Este cuarto es equipado con una capacidad de refrigeración extra, además de ser equipado con ventiladores para la circulación del aire, al no ser un sistema prediseñado específicamente para cada aplicación su eficiencia es baja. Este tipo de arreglo es, sin embargo, utilizada por productos como: margarina, cortes de carne y pescado; pero no para productos procesados.

Blast Freezer.

En este tipo de equipo el aire se hace circular por arriba del producto, el cual es colocado en tarimas. Las tarimas son arregladas de tal manera que pueda circular el aire libremente entre ellas. Estas tarimas pueden ser movidas ya sea manualmente o por medio de montacargas, o deslizadas a través del túnel por medio de rieles. Estos túneles también son utilizados para el congelamiento de canales de res, que son suspendidas en un convoy o suspendidas en el aire por rieles.

Prácticamente todos los productos pueden ser congelados en un Blast Freezer, productos como: Espinaca, brócoli, pateé de carne, filetes de pescado, camarón crudo y comidas preparadas pueden ser congeladas con este sistema si son previamente empaçados; además de que vegetales enteros o rebanados pueden ser congelados si se empaacan en cajas de cartón de unos 30-40 mm de ancho.

Sin embargo es importante señalar que ambas, capacidad de refrigeración y arreglos de circulación de aire, son específicas para cada producto. Esto significa que el diseño desarrollado para carne congelada es inapropiado para manejar productos sin empacar.

La gran flexibilidad proporcionada por este tipo de equipo es balanceada por su alto requerimiento en personal (por manejo acomodado, limpiado y transportación de las tarimas), además el producto puede llegar a perder peso si es manejado de una manera inapropiada.

Este tipo de túnel debería de ser diseñado teniendo el cuidado de que el flujo de aire siempre cubra al producto, para tener una uniformidad en los productos a ser congelados.

Sistemas con banda.

Los primeros sistemas consistían básicamente de una banda amplia en un cuarto con chorro de aire, la cual satisfacía las necesidades de un producto fluyendo en continuo. Teniendo la desventaja de una transferencia de calor pobre en el cuarto, además los problemas mecánicos que llegaron a aparecer

Los sistemas modernos emplean normalmente un flujo de aire que mantiene un buen contacto con todo el producto, pero solamente si el producto es bien distribuido en el banda. Donde la pared del producto es delgada o no existe, hay una menor resistencia al aire, el cual se concentrará en estas zonas, provocando un sobrecongelamiento de los productos.

Se han diseñado sistemas de banda simples para congelar productos no empacados, con el fin de mejorar la transferencia de calor y mejorar la calidad. De los sistemas que este tipo tenemos: Congelador de lecho fluidizado, Congelador Multilecho y Giro Freezer

Congeladores de lecho fluidizado

Cuando comenzaron a desarrollarse este tipo de sistemas, el congelado de vegetales era por medio de los congeladores de platos o congeladores de túnel, y el resultado era más o menos un bloque de producto, el cual era difícil de manejar. El primer intento para producir una congelación con un flujo que permitiera manejarlo individualmente fue hecho para peras. Siendo desarrollado a principios de los 60's el sistema de lecho fluidizado con el que fue posible congelar vegetales individualmente.

La fluidización ocurre cuando las partículas de tamaño y forma uniforme son sujetas a una chorro de aire por la parte baja. A una cierta velocidad las partículas flotan en el chorro de aire, cada una separada de la otra, pero rodeada por aire y con movimiento libre. Usando bajas temperaturas de aire para proporcionar la fluidización, los productos son congelados y acarreados por el mismo aire sin la necesidad de un convoy. (siguiente figura)

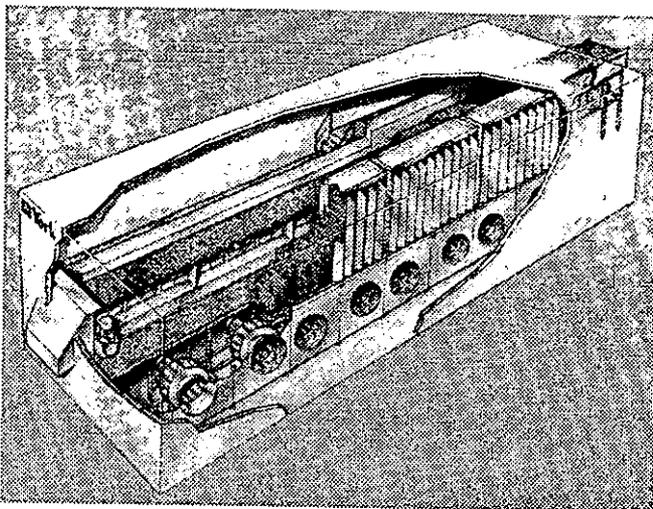


Figura 17. Tunnel de lecho fluidizado. Fuente: Frozen Food Technology. Mallet. 1993

El uso de el principio de la fluidización proporciona ventajas adicionales comparadas con el uso de un congelador de banda normal puesto que el producto es siempre congelado tipo IQF (individualmente congelado), lo cual es particularmente conveniente para productos con una tendencia a pegarse como: frijoles verdes, rebanadas de zanahoria y de pepino. Además en productos húmedos se incrementa la calidad porque un sistema fluidizado puede aceptar productos con más humedad.

Otro tipo de sistema utiliza un sistema combinado de lecho fluidizado con banda, este opera en dos pasos: una zona de congelado de la superficie y una zona de congelamiento final. El producto es llevado en un lecho fluidizado que garantiza la transferencia de calor, un rápido congelado de la superficie y la separación de las partículas, el producto así congelado, es llevado a través de la banda a la zona de congelamiento final donde se homogeneiza la temperatura del producto.

Este tipo de sistema es muy eficiente, pues existe una alta velocidad en la transferencia de calor y esta eficiencia puede ser vista en el sistema, pues sólo ocupa una tercera parte de espacio que los sistemas normales.

Aunque en este sistema es factible el congelamiento de camarón el inconveniente que tiene es que sus altas velocidades de flujo de aire pueden llegar a despedazar al camarón yendo en detrimento de la calidad.

Congelador Multilecho

En respuesta a la necesidad de decrecer el espacio de suelo de un sistema de lecho fluidizado simple, las camas pueden ser montadas unas sobre de otras en un congelador multibanda o un congelador en espiral. Tales congeladores pueden ser usados en lugares donde se necesita un contacto por un periodo mayor de tiempo por parte de el producto y que además existan problemas de espacio.

El sistema consiste de tres convoyes posicionados uno sobre otro con ventiladores posicionados sobre la banda, las cuales son soportadas por la misma estructura metálica que lleva el convoy. Los productos son alimentados en la parte superior y transportados a través de una zona fría y una zona congeladora. Posteriormente pasa a una segunda banda que lleva al producto otra vez por la zona congeladora hacia la parte donde se esta alimentando, ahí pasa a una tercera banda, donde pasa una vez más por la zona congeladora y saca al producto ya congelado.

El flujo de aire en este tipo de congeladores puede ser vertical u horizontal, pero el flujo más eficiente es determinado por las características del producto (dimensiones y si es empacado o no), así como el grado de procesamiento y composición. En este sistema entre más sea rápido el flujo de aire es más rápido el congelado, pero si este es demasiado puede dañar a productos sin empacar.

Giro Freezer

Este sistema ocupa un mínimo de espacio al tener más de 30 camas una sobre la otra, esto da como resultado un incremento en el aprovechamiento de la superficie en un espacio de suelo determinado, al usar una cama la cual esta rodeada con una pared, dándole al Giro Freezer la apariencia redonda. Las camas son soportadas por rieles, los más avanzados y refinados Giro Freezer operan con una baja tensión en las partes mecánicas del sistema.

La cama continua de este sistema elimina los puntos de transferencia de calor donde el daño al producto pueda ocurrir. Los productos son colocados en la banda del Giro Freezer que sale al exterior dando oportunidad a la supervisión del producto antes de la entrada, además de dado el acomodo de la banda esta puede ser girada ya sea hacia un lado o hacia el otro.

Son disponibles en el mercado algunos modelos de Giro Freezer, sus principales diferencias estriban en: el flujo de aire, tipo de banda usada, forma de soporte de la banda y su mecanismo de movimiento.

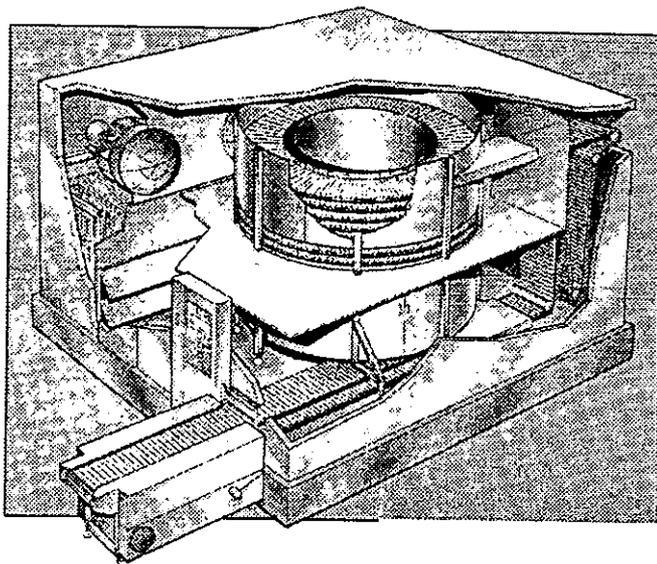


Figura 18. Giro Freezer. Fuente: Frozen Food Technology. Mallet, 1993

Para este tipo de sistema son muy importantes las mejoras en las condiciones de higiene en la zona donde el producto es congelado. La banda en contacto con el producto es lavada y secada en un sistema de limpieza externo.

Los lados de las bandas sirven como canales para el flujo de aire en la zona congelante. El aire fluye de abajo hacia arriba de los productos en movimiento en una corriente de frío, la cual es muy eficiente para la transferencia de calor.

El Giro Freezer es un equipo muy flexible para usar un amplio rango de producto a ser manejado. Por esta razón los productos empacados y no empacados pueden ser congelados, como ejemplo tenemos: pateé de carne, pastel de pescado, filetes y productos de repostería, y por supuesto camarón los cuales pueden ser congelados ya sea crudos o cocidos, conservando un alto grado la calidad del camarón.

1.4.2.2. CONGELADORES POR CONTACTO DIRECTO

Congeladores de platos

Existen dos principales tipos de congeladores de platos, el congelador horizontal y el congelador vertical. Cada tipo puede ser automático o manual. El congelador de platos típico es el manual el cual tiene de 15-20 platos .el producto es colocado en bandejas de metal o en otros sistemas y estas colocadas entre los platos.

La operación automática de el congelador de platos es hacer que este se mueva hacia arriba y abajo con un sistema de elevación en el cual los empaques son acarreados al plato y acomodados en el, cuando la charola se ha llenado se cierra el espacio entre las bandejas y por el otro lado del equipo se descarga el producto congelado. Este ciclo continua hasta que es descargado el congelador de producto congelado y llenado con producto a congelar. Al finalizar se cierran todas las bandejas y comienza el congelamiento.

El congelador de platos vertical es usado principalmente para bloques entre los 10-15 Kg. y ha sido especialmente desarrollado para congelar productos pesqueros El congelador consiste de algunos platos verticales formando particiones en un contenedor con una salida en la parte superior.

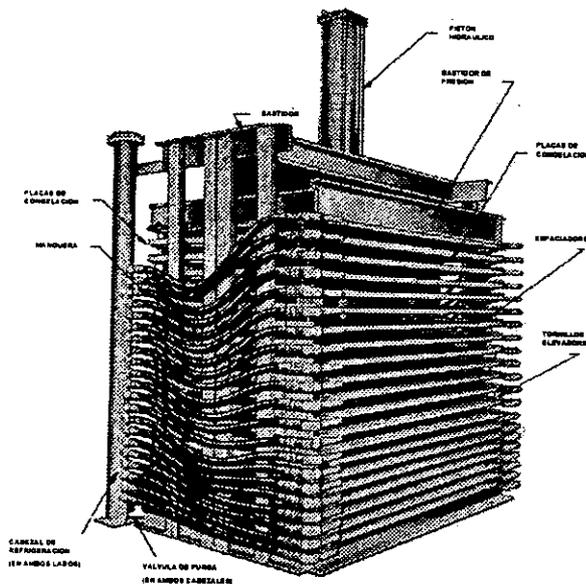


Figura 19. Partes de/ congelador de platos. Fuente: Frozen Food Technology. Mallet.1993

El producto es alimentado por la parte de arriba y los bloques son descargados por un lado al final de la congelación. La descarga de estos productos es seguida por un corto periodo de descongelamiento al final del ciclo. En la expulsión de los bloques se utilizan compresoras de aire o sistemas hidráulicos para agilizar el proceso.

Este sistema es el más utilizado para la congelación de camarón en forma de Marquetas, siendo también el más económico en lo que respecta a equipo e instalación, más sin embargo las clases de camarón que se congelan de esta forma son también las más económicas.

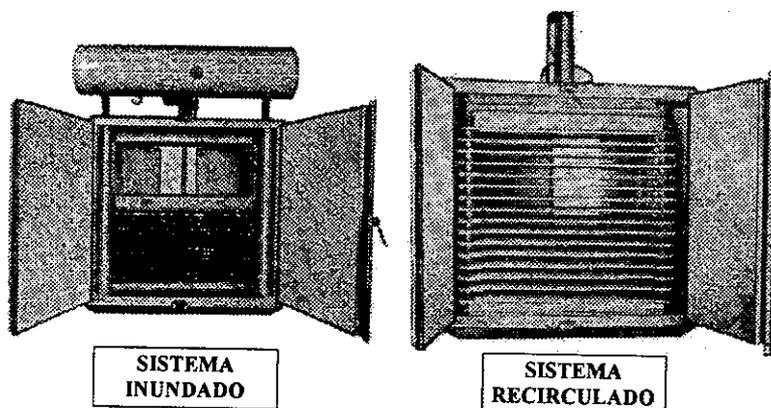


Figura 20. Tipos de alimentación a congeladores de platos. Fuente: Frozen Food Technology. Mallet. 1993

1.4.3 CONGELACIÓN CRIOGÉNICA.

Criogenia es una palabra proveniente de la raíz griega cryos, que significa frío, y genea que significa nacimiento, así la criogenia se refiere al estudio del comportamiento de los materiales a muy bajas temperaturas.

Debemos entender como temperaturas bajas o "criogénicas" a aquellas que se encuentran alrededor de los $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$ (-452°F) la implantación de esta como punto de referencia para nuestro estudio es muy estricta, así que tomándolo desde un punto de vista menos rígido podemos decir que el estudio de la criogenia abarca las temperaturas que se encuentran por debajo de los -173°C (-280°F).

Para los fines que persigue esta tesis la palabra criogenia se utilizará como la palabra que representa el uso de los gases con punto de ebullición muy bajo, como: Oxígeno, CO_2 , Nitrógeno, Argón, Hidrógeno, etc., gases que son capaces de absorber rápidamente el calor de cualquier material que se encuentre expuesto a ellos. (Pilatosky, 1993)

En la actualidad el uso de estos gases ya se esta generalizando en una variedad de procesos, como: liofilización, criomolienda, superconducción, etc., además de la congelación de alimentos la cual ha crecido como alternativa de soporte a la congelación mecánica, pasando desde experimentos a nivel laboratorio a un uso industrial, teniendo aplicaciones concretas en USA, Europa y también en México. (Pilatosky, 1993) y (Madrid, 1991)

Para la congelación de alimentos en general se usan Nitrógeno y CO_2 , gases que son considerados excelentes para este uso por sus características de no reacción, bajo costo, no toxicidad y la de absorber rápidamente el calor.

En este estudio se maneja el *nitrógeno líquido*, debido a que este es el que se utiliza con frecuencia en la congelación de camarón. A continuación se mencionan algunas de las características que se tienen acerca de este material congelante.

1.4.3.1 EL NITRÓGENO.

Este gas se encuentra abundantemente en la naturaleza en compuestos orgánicos e inorgánicos. En el aire se encuentra en una concentración de 78.08%. En condiciones normales es un gas incoloro, inerte, insípido, inodoro, no explosivo, ni combustible. Sólo puede generar peligro cuando se encuentra

en altas concentraciones en un cuarto mal ventilado, pues puede desplazar al oxígeno y producir daños por asfixia. (Madrid,1991)

Este gas fue licuado por primera vez hacia finales del siglo pasado y la extensión de su uso es debida a su propiedad de sustancia inerte. El nitrógeno no reacciona con los alimentos, esto es, no los altera, en cuanto, a su apariencia, sabor, olor y color. (Pilatosky, 1993)

El nitrógeno se obtiene en forma líquida a presión atmosférica a una temperatura de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$), para mantenerlo a baja temperatura y en su forma líquida se debe almacenar en depósitos aislados al vacío y con presiones que oscilan entre 2 y 6 bar, con puntos de vaporización de $-190\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-310\text{ }^{\circ}\text{F}$) y $-166\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-267\text{ }^{\circ}\text{F}$) respectivamente.

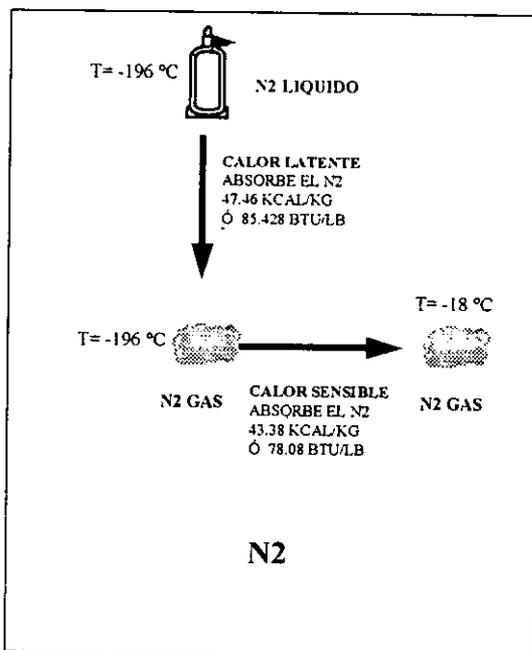


Figura 21. Estado físico del N_2 . Cortesía Cryoinfra SA.de CV

Para llevar a cabo la evaluación de la congelación por medio de Nitrógeno Líquido es importante saber cuales son sus propiedades térmicas, las cuales se resumen en seguida.

Punto de ebullición:	$-195.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-320\text{ }^{\circ}\text{F}$)
Calor Latente:	47.46 Kcal/Kg (85.4 Btu/Kg)
Calor Específico:	0.24 Kcal/Kg (0.432 Btu/Kg)

Cabe señalar que la cantidad de calor que el nitrógeno es capaz de retirar depende de las condiciones del sistema (explicación que es proporcionada más adelante), pudiendo retirar hasta 91 Kcal/Kg (162 Btu/lb). a presión atmosférica. Considerando el calor que es capaz de retirar tanto el líquido, como el gas Nitrógeno. (Madrid, 1991)

Obtención del Nitrógeno.

El Nitrógeno se obtiene directamente de la destilación fraccionada del aire el cual lo contiene en un 78.08 % en volumen. A continuación se muestra un diagrama de una planta para la obtención de nitrógeno líquido.

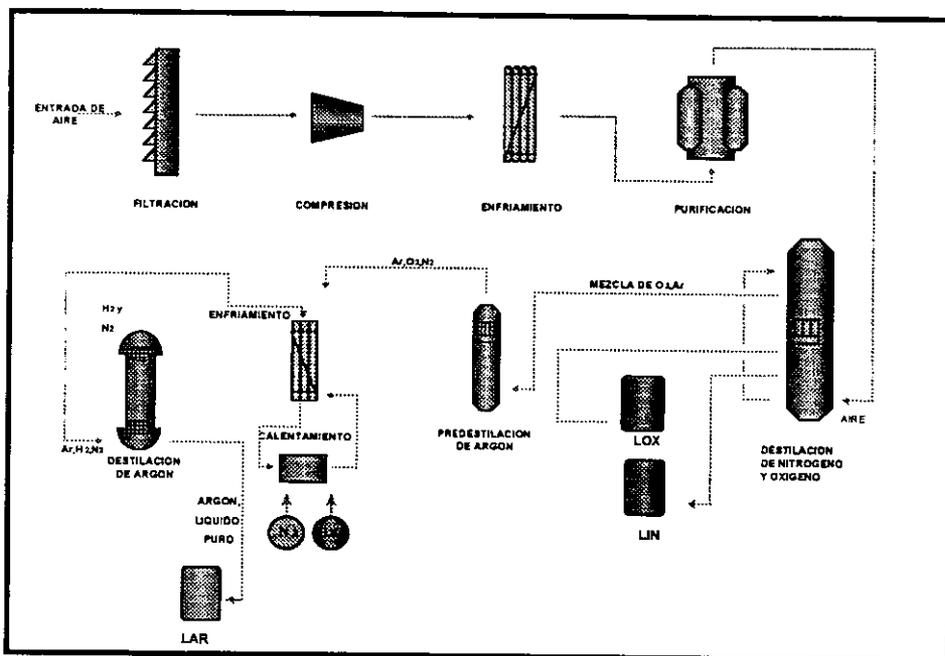


Figura 22. *Proceso de obtención de nitrógeno líquido.* Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.

Para la obtención del nitrógeno, el primer paso a seguir es la FILTRACIÓN del aire esto con el fin de librarlo de impurezas sólidas presentes en él como: polvo, insectos, hollín, basura, etc. Este proceso se realiza por medio de fibras que remueven las impurezas. El tamaño de las impurezas que este tipo de fibras son capaces de retener son del orden de 1 micra hasta 10 micras.

Posteriormente se pasa a una etapa de COMPRESIÓN para elevar su presión, la compresión se lleva a cabo por etapas teniendo un enfriamiento en cada descarga, con el fin de no incrementar la temperatura de descarga del fluido y la potencia requerida por el compresor.

El siguiente paso del proceso es el ENFRIAMIENTO, el cual se realiza hasta una temperatura de $-141\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-221\text{ }^{\circ}\text{F}$) y una presión de 38 Kg/cm^2 (520 lb/in^2). Esta etapa del proceso se realiza en intercambiadores de calor por agua, a la cual se le extrae el calor por medio de una torre de enfriamiento. El sistema de refrigeración es similar a los utilizados en ciclos convencionales, la diferencia estriba en el tipo de refrigerante, siendo el nitrógeno utilizado en lugar de Freón 12 o Amoniaco.

Después del enfriamiento se prosigue a un SISTEMA DE PURIFICACIÓN para eliminarle humedad, bióxido de carbono e hidrocarburos. Parte de la humedad presente en el aire es condensada en la compresión, pero aún existen trazas de humedad las cuales son removidas por medio de un sistema de intercambiados reversibles y uno de mallas moleculares.

Por último se realiza una DESTILACIÓN FRACCIONADA del aire. El nitrógeno es condensado en el domo de la columna de alta presión, que se localiza en la parte inferior y transfiere calor al oxígeno en el fondo de la columna de baja presión por efectos de evaporación y condensación. (Cortesía CRYOINFRA S.A. de C.V.)

1.4.3.2. SISTEMA DE CONGELACIÓN CRIOGÉNICA POR NITRÓGENO.

Para llevar a cabo la congelación por medio de nitrógeno es necesario un sistema con el cual se almacene, conduzca y distribuya el nitrógeno. Las partes integrantes de este sistema son: Tanque, Tubería, Control del flujo, Ventiladores, Extractor y Espreas.

Con el fin de comprender como es el funcionamiento de este sistema, y cuales son las principales variables que lo afectan, se dará una breve explicación de cada uno.

Tanque.

El nitrógeno líquido debe conservarse en forma de líquido saturado, para esto es almacenado en tanques denominados criogénicos, en los que se encuentran el líquido y el gas del nitrógeno a la misma presión.

Estos tanques criogénicos constan de dos recipientes concéntricos, un tanque interior fabricado de acero inoxidable tipo 304, capaz de resistir las bajas temperaturas sin alterar su estructura y otro exterior, fabricado de acero al carbón, el cual es capaz de soportar la presión atmosférica contra el vacío interior que existe entre ambos tanques.

En el espacio entre los dos tanques existe un espacio que contiene Carlita tipo "D" a la cual se le extrae el aire hasta obtener un vacío casi total, esto incrementa hasta en un 30 % la capacidad de aislamiento del tanque.

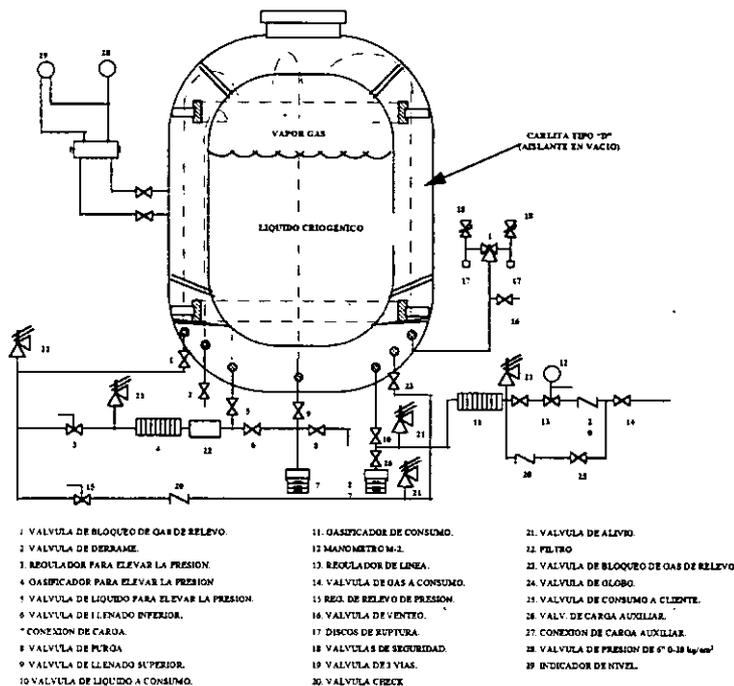


Figura 23. Diagrama de tanque criogénico. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.

El tanque criogénico cuenta con los siguientes sistemas:

- **Sistema de vacío.** Este sistema consta de: Válvula de seguridad, Válvula de medición de vacío y Fusible de seguridad.
- **Sistema de llenado.** Consta de: Conexión de carga, Válvula de llenado superior, Válvula de llenado inferior, Válvula de purga y Válvula de derrame.
- **Sistema de consumo.** Esta compuesto de: Válvula de líquido a consumo.
- **Sistema de elevo y relevo de presión.** Consta de: Válvula de líquido para elevar la presión, gasificador, Regulador de alta presión, Válvula de bloqueo de gas de elevo y Regulador de relevo de presión.
- **Sistema de seguridad.** Consta de: Válvulas de seguridad, Discos de ruptura, Válvulas de tres vías, Válvulas de alivio y Tapón fusible.

Antes de que un tanque sea recargado este debe de purgarse con el fin de eliminar polvo, humedad y calor. Durante la carga se produce una caída de presión repentina, debido a la condensación del vapor saturado, por el nitrógeno líquido que está una menor temperatura. Durante esta operación se abre la válvula de derrame que indica cuando un tanque se encuentra totalmente lleno.

Un factor importante en el manejo del tanque es la presión en el momento de la congelación, puesto que entre mayor sea la presión en este, menor calor podrá absorber el líquido nitrógeno y por lo tanto el sistema será poco eficiente. Para tener mejor idea del fenómeno se muestra a continuación una figura que relaciona la presión del sistema y el calor que es capaz el nitrógeno de retirar.

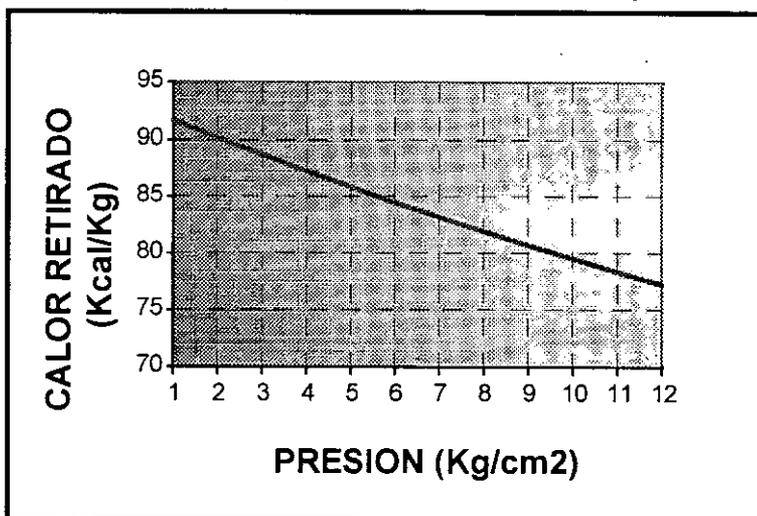


Figura 24. Calor retirado por el nitrógeno líquido en función de la presión del tanque. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.

Como podemos ver en el gráfico si se elevará la presión más allá de los 5 Kg/cm^2 la cantidad de calor capaz de ser retirada por el nitrógeno líquido se ve reducida en un 5 %. Existe otro fenómeno denominado "flasheo", el cual provoca pérdidas de eficiencia térmica del nitrógeno líquido, líquido que absorbe calor de los alrededores.

Estas pérdidas se incrementan, cuando se eleva la presión en el sistema, pudiendo llegar hasta un 15 % en caso de rebasar los 5 Kg/cm^2 . Las presiones recomendadas durante la operación de un sistema criogénico son de 1 a 2 Kg/cm^2 , presión suficiente para llevar el nitrógeno líquido del tanque al congelador, siendo las pérdidas de líquido mínimas.

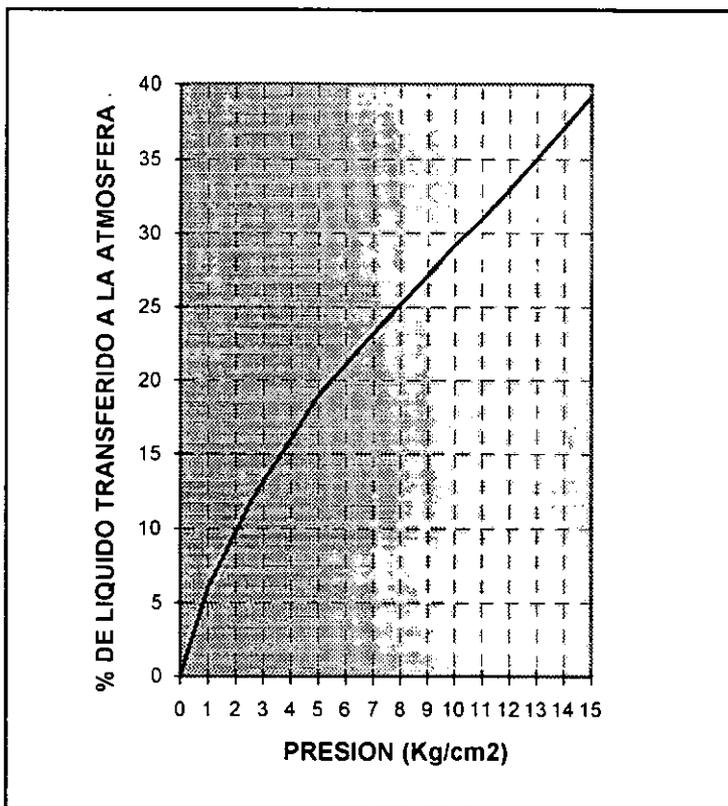


Figura 25. Pérdidas de nitrógeno líquido por flasheo. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

Tubería.

La tubería es de las partes más importantes del sistema, pues sin ella no se llevaría el nitrógeno líquido hacia nuestro equipo. Si no se tiene el cuidado necesario en el aislamiento de esta, se pueden sufrir pérdidas de nitrógeno líquido, provocando ineficiencia en el sistema e incremento en el consumo de nitrógeno.

El aislamiento es utilizado principalmente por dos razones:

- Para minimizar las ganancias de calor del nitrógeno de los alrededores y aprovechar todo el calor que el nitrógeno es capaz de retirar de nuestro producto.
- Porque en el lugar donde va a ser utilizado el nitrógeno, la formación del hielo en las tuberías pueda provocar un problema.

El nitrógeno es transportado desde el tanque hacia el congelador y es importante proporcionarle la adecuada tubería y aislamiento. No olvidar que todas las pérdidas por calor representan pérdida de nitrógeno disponible para congelar el alimento.

El sistema óptimo de aislamiento depende de una serie de factores, aquí se mencionan algunos:

- Cantidad de nitrógeno a usar.
- Número de paros en el proceso (continuidad).
- Longitud de tubería del tanque al lugar donde será utilizado el nitrógeno.
- Costos de producción.
- Trayectoria y dirección de la tubería.
- Costos de diseño e instalación de tubería.

Como sistemas comunes de aislamiento tenemos los de espuma y al vacío.

Aislamiento con espuma.

Ese tipo de aislamiento se realiza con poliuretano o poliestireno, estos recubren las paredes exteriores de la tubería. Las pérdidas de calor ocasionadas por este tipo de aislamiento no son grandes para un sistema mecánico de congelación, donde las temperaturas del líquido congelante pueden llegar a ser de $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($-45\text{ }^{\circ}\text{F}$), pero en un sistema criogénico suelen ser considerables porque la baja temperatura del nitrógeno líquido ($-196\text{ }^{\circ}\text{C}$), comparadas con el medio ambiente, provoca la ganancia de calor en el lado de la tubería.

Este tipo de aislamiento es recomendado para instalaciones con volúmenes de consumo de nitrógeno no muy grandes, o procesos batch. Donde la longitud de tubería a ser usada sea menor a 20 m.

Aislamiento al vacío.

Para que exista la conducción del calor se necesita de un medio que lo transmita, como un líquido, un sólido o un gas, por eso si no existe un medio conductor la transferencia de calor es la mínima. Este es el principio del aislamiento al vacío, la tubería que transporta el nitrógeno líquido se ve rodeada por otra y en el espacio entre ellas se provoca vacío, con esto se reduce la penetración de calor. Este tipo de tubería es recomendada para flujos de nitrógeno grandes, continuos y también para longitudes de tubería grandes.

La pérdida de nitrógeno por ganancia de calor de los alrededores entre los dos sistemas es grande. Para poder entender esto de una mejor forma se debe de revisar el concepto de Q/L.

El Q/L es un concepto desarrollado para cálculos de transferencia de calor y se define como: la cantidad de calor que es capaz una longitud de tubería (normalmente manejado en ft) de absorber del medio ambiente, por unidad de tiempo (hr), (Chapman,1993). Teniendo este concepto en mente y realizando un balance de calor en tubería se puede decir que las pérdidas de calor por una tubería aislada con poliuretano son entre 6 y 8 veces más grandes que en las tuberías aisladas al vacío. (Figura 26).

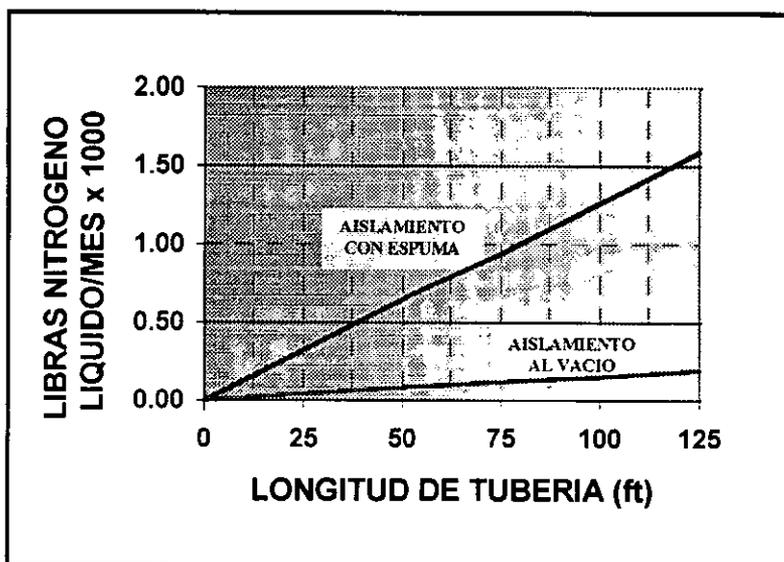


Figura 26. Pérdidas de nitrógeno en tubería para periodos de 8 hrs/día, 5 días/sem, 4 sem/mes. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

En la gráfica se puede apreciar la diferencia tan grande que existe en pérdidas, si se considera un tamaño de tubería de 20 m (90 ft), con una jornada de trabajo de 8 hrs se observará que las pérdidas por aislamiento con espuma son aproximadamente 5 veces mayores que las pérdidas con aislamiento al vacío, siendo esta la razón por la cual se recomienda en las instalaciones con nitrógeno.

Control del flujo de nitrógeno líquido.

Los sistemas de control y de dispersión del nitrógeno, son de gran importancia dentro del sistema de congelación, pues son los elementos que regulan el consumo de nitrógeno dentro del túnel.

Si consideramos al túnel como una caja, cuando se suministra el nitrógeno líquido, este absorberá calor (calor latente de vaporización) y pasará a gas, pero se debe recordar que el nitrógeno en forma gaseosa también absorbe calor, por lo cual si se incrementa el flujo de nitrógeno en forma líquida, el gas no tendrá la oportunidad de absorber el calor suficiente. Por esto debe de existir un balance apropiado de la cantidad de nitrógeno líquido suministrado.

En los túneles criogénicos la determinación de la cantidad de nitrógeno a suministrar se realiza en el centro, ahí se mide la temperatura del nitrógeno gaseoso que ya estuvo en contacto con el alimento cierto tiempo. Con esta temperatura, un sistema de control manejado por un cerebro electrónico, manda una señal a la válvula reguladora del flujo cerrandola o abriandola automáticamente, lo cual nos garantiza una temperatura homogénea y un mejor aprovechamiento del nitrógeno.

En este tipo de sistemas es común ver los sensores de temperatura en la parte central del túnel que es la zona donde el nitrógeno es suministrado, esto es debido a que es ahí donde se realiza un mayor intercambio de calor entre el nitrógeno y el alimento, y es donde se observa la eficiencia del sistema.

Ventiladores

Con el fin de aprovechar toda la capacidad congeladora del nitrógeno, los fabricantes de túneles han instalado ventiladores, para hacer más eficiente el intercambio de calor. Así la distribución y el número de ventiladores dará mayor eficiencia en el proceso de congelación del alimento, pues el chorro de nitrógeno líquido sobre el alimento permite el aprovechamiento del calor latente del líquido, mientras que la recirculación de gas frío permite aprovechar el calor sensible del nitrógeno. En este tipo de túneles la circulación de gas se realiza en contracorriente haciendo más efectivo la transferencia de calor.

El suministro de nitrógeno en un extremo del túnel y el efecto de los ventiladores producen la niebla típica a la salida del mismo, pero un extractor permite controlar este efecto.

Extractor

El extractor tiene la función de retirar el nitrógeno que ya fue usado, esto lo hace por medio de ventiladores que arrastran el gas. En los túneles criogénicos se puede regular la capacidad de aspiración por medio de un variador de velocidad de los extractores, pudiendo reducir a un mínimo la velocidad de extracción del nitrógeno. Cuando se incrementa el tiempo de permanencia del gas nitrógeno dentro del túnel, se aumenta la eficiencia del sistema. Por lo tanto entre más "caliente" sea el nitrógeno gas enviado a la atmósfera, es mayor su aprovechamiento.

Espreas.

Existen una gran variedad de espreas las cuales son clasificadas de acuerdo al efecto que forma el chorro de líquido al ser expulsado de esta: en forma de cono (grosso y delgado), en forma de anillo, de espreo fino o de espreo plano (grosso o delgado)

En el siguiente diagrama se da una idea del efecto que da el chorro de líquido, sobre el alimento dependiendo de la esprea.

TIPO DE ESPREA	DIBUJO
CONO	
ANILLO	
FINO	
PLANO	

Figura 27. Dibujo del chorro de la esprea.
Fuente: Manual de Spraying Systems Co.

Para la congelación de alimentos se desea un chorro de nitrógeno líquido, que cubra lo mejor posible al producto, para que no sea desperdiciado el poder congelador del nitrógeno en el enfriamiento del equipo y los alrededores.

Las espreas utilizadas en los equipos de congelación criogénica son las de chorro plano, las cuales inyectan el líquido en forma alargada (con un ancho que depende del ángulo de la terminación de la esprea). Existen dos tipos: con deflector y sin deflector. Las espreas sin deflector son las más utilizadas, y las que cuentan con deflector son utilizadas en productos en los cuales no se desea que el líquido tenga contacto directo con el producto (productos de panadería).

Las espreas con deflector congelan el alimento sin desperdiciar en gran manera el líquido nitrógeno, pues cubren bien el producto, y permiten buen control en el flujo. La altura de las espreas debe ser lo más cerca al alimento, respetando la altura máxima que pueda alcanzar la cama de producto. Esto con el fin de que llegue al producto el nitrógeno líquido, aprovechando la mayor cantidad de calor a ser retirado por el nitrógeno (calor latente de vaporización).

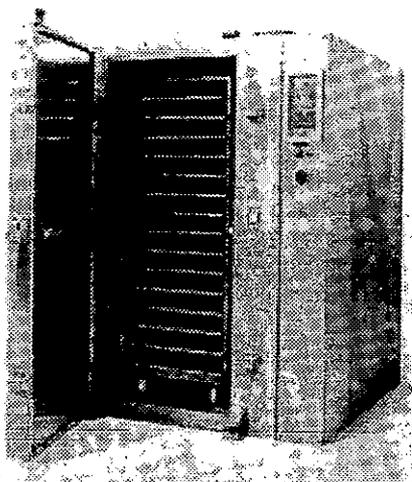
1.4.4. EQUIPO PARA CONGELACIÓN CRIOGÉNICA.

La parte medular del sistema para congelar criogénicamente es la unidad de congelación la cual se puede clasificar como: Gabinete, túnel, tina más túnel y tina sola.

Gabinete.

En esta clase de equipos la congelación de alimentos se lleva a cabo en lotes y permite congelar los alimentos ya sea por inyección de nitrógeno líquido o por formación de nieve carbónica.

El gabinete contiene todos los instrumentos necesarios para su control y operación. La instalación requiere de la conexión a un contenedor de Nitrógeno, así como energía eléctrica de 110 volts. Todos los controles de temperatura son automáticos, con sensores, cuya función es mandar señales al controlador, teniendo como función el comandar el flujo de nitrógeno. La cámara esta totalmente construida en acero inoxidable de calibre 18, con cuatro pulgadas de aislamiento de poliuretano. Todas sus partes son de fácil acceso, para permitir su limpieza y mantenimiento.



*Figura 28. Gabinete Criogénico. Cortesía.
Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.*

Para la congelación de alimentos, estos son colocados en bandejas las cuales a su vez son distribuidas en un carro, el cual se guarda en el gabinete. Cuando el alimento es colocado dentro del gabinete, este se cierra y se hace circular el gas criogénico entre las charolas por medio de las espreas correspondientes.

Los ventiladores agitan y distribuyen el gas entre las bandejas, siendo su principal función la de homogeneizar la nube de gas dentro del gabinete. Cuando el alimento ha alcanzado la temperatura deseada, el producto se retira del gabinete y se repite el procedimiento.

Túneles de Banda Sólida

Este tipo de congelador enfría y congela productos que por sus características, pueden ser deformados por la malla utilizada. Tal es el caso de carne o pollo, productos lácteos, de galletería, alimentos preparados y líquidos.. El nitrógeno líquido se esprea en la banda, la cual proporciona el enfriamiento por conducción (a través de la banda) y por convección (por el chorro del nitrógeno líquido).

Entre sus beneficios se encuentran:

- Incrementan productividad.
- Elimina marcas de la banda y mantiene la forma del producto.
- Mejora el control del proceso para enfriar en picos o valles.
- Conserva la humedad para conservar sabor, textura y apariencia.

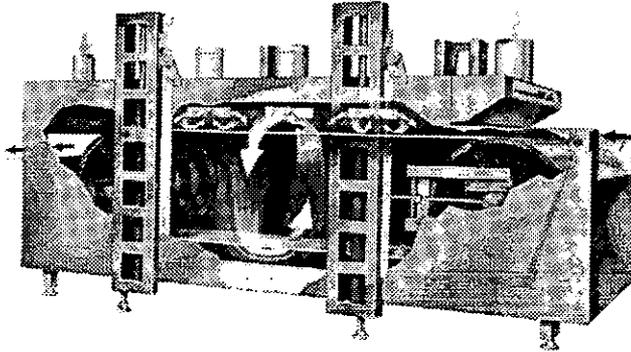


Figura 29. Túnel de banda sólida. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

Túnel de banda(CryoQuick)

Este tipo de congeladores tienen un rango de capacidad desde 1000 Kg/hr hasta 3000 Kg/hr, manejando casi cualquier tipo de producto: pescado, carne, vegetales, frutas, golosinas y productos de panadería. Este equipo es un túnel bien aislado con banda de malla que corre a lo largo de él.

Los alimentos son acarreados y esparcidos con nitrógeno líquido casi al final de el túnel. El gas que se forma al ser convertido el Nitrógeno líquido en gas, es utilizado para enfriar los alimentos, este gas es acarreado por medio de ventiladores desde el lugar donde se forma hasta el principio de túnel donde entra el alimento. Este equipo tiene como desventaja que en algunas ocasiones resultan demasiado largos dependiendo de las capacidades y características del producto.

Beneficios:

- Mantiene la calidad, consistencia, textura y apariencia.
- Disminuye el tiempo de proceso.
- Es modular y permite acoplarse a las necesidades de expansión de proceso.

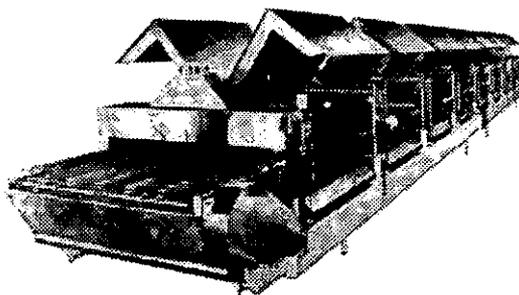


Figura 30. Túnel de congelación (CryoQuick). Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

Túnel con tina de inmersión

Este tipo de unidades son usadas para productos como camarón, vegetales y frutas de textura suave, productos que son difíciles de congelar individualmente debido a que se adhieren unos con otros. También se congelan productos tales como pollo, variedades de carne y alimentos preparados. Los productos son en un principio sumergidos en un baño de nitrógeno líquido, en donde los alimentos son congelados en la superficie instantáneamente. Los productos son transportados a través de un túnel de equilibrio térmico para congelar a la temperatura deseada.

Beneficios.

- Congela la superficie y evita el apelmazamiento.
- Minimiza las pérdidas de humedad y peso.
- Preserva los sabores, colores y texturas.
- Requiere de poco capital de inversión.
- Tamaño compacto que previene las necesidades de expansión de la planta.
- Congela altos volúmenes de alimentos.

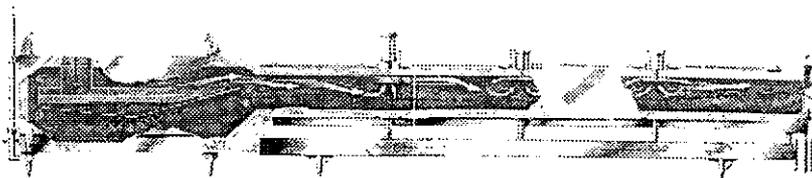


Figura 31. Túnel de banda con tina de Inmersión Cortesia. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

Túnel de congelación con tina de inmersión PLUS.

Este tipo de túneles son utilizados para congelar por arriba de los 1500 Kg/hr . El tipo de alimentos que pueden ser congelados aquí son tanto cocinados como crudos, carnes, productos marinos, partes de pollo, pizza, frutas y vegetales.

Este sistema consta de tres bandas. Los alimentos son acarreados y sumergidos al principio en una bañera con nitrógeno líquido, en este baño el producto se congela individualmente previniendo así el apelmazamiento, además de ser prevenida las pérdidas de humedad. Los alimentos terminan su congelación en las dos bandas restantes con el nitrógeno gas generado de la sección de inmersión. Siendo la diferencia con el túnel anterior que las bandas se encuentran una encima de otra, estando en la parte superior la banda de la tina y las bandas de homogeneización abajo de esta.

Beneficios.

- Su tamaño compacto previene las necesidades de expansión de planta.
- Ayuda a retener humedad, manteniendo la calidad del producto y su peso.
- Requiere de capital de inversión mínimo.
- Reduce el apelmazamiento.
- Fácil mantenimiento y limpieza.

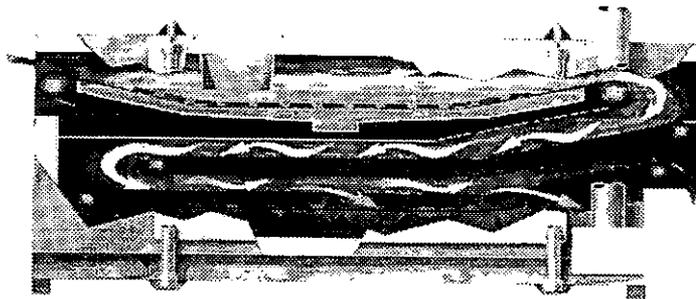


Figura 32. Túnel de congelación con tina de Inmersión PLUS. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

Tina de inmersión.

La tina comprende una banda la cual permite el baño de los alimentos en nitrógeno líquido. No contando estos equipos con una zona de homogeneización de la temperatura de los alimentos. Los alimentos son sumergidos en un baño de nitrógeno por períodos de 5 a 50 segundos, formando una costra en la superficie de estos. Esta costra es de gran importancia pues evita que los alimentos que vayan a ser procesados o que su congelación sea completada en otro sistema se peguen a la banda o entre ellos mismos.

Esta unidad entrega productos a los que posteriormente se les terminará de congelar ya sea por el método de refrigeración mecánico o criogénico usándose para incrementar capacidades de los sistemas de congelación convencionales, lográndolo la calidad IQF.

Beneficios.

- Ayuda a evitar pérdidas de humedad del producto, además de evitar el daño ocasionado por la banda de los sistemas convencionales.
- Incremento en capacidad porque el nitrógeno líquido adiciona entre un 25 a 50 % más de refrigeración que un sistema mecánico sólo.
- Ayuda a mantener la textura, sabor y apariencia de los alimentos.
- Costos mínimos de mantenimiento y limpieza.

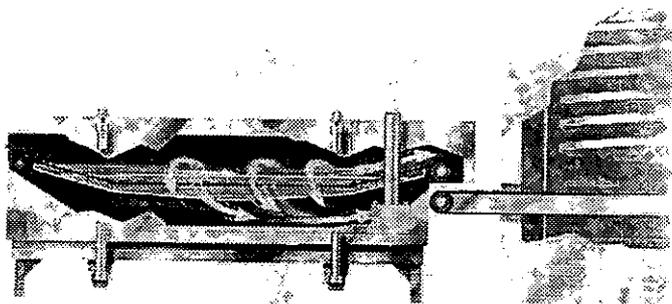


Figura 33. Tína de inmersión. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products.

1.4.5. CONGELACIÓN CRIOGÉNICA DE CAMARÓN.

De los equipos antes mencionados, el equipo más recomendado en la congelación de camarón es la TINA con TUNEL, esto debido a la alta humedad que el alimento presenta. Siendo el camarón un producto con alto valor agregado, su apariencia debe ser excelente, y al sumergirlo en un baño con nitrógeno líquido se evita el apelmazamiento de la pieza.

El funcionamiento de este túnel es simple, proporcionándose a continuación una breve descripción, (vease diagrama).

El camarón entra por la parte superior (entrada de producto) aunque también puede realizarse la alimentación al túnel por el principio del túnel.

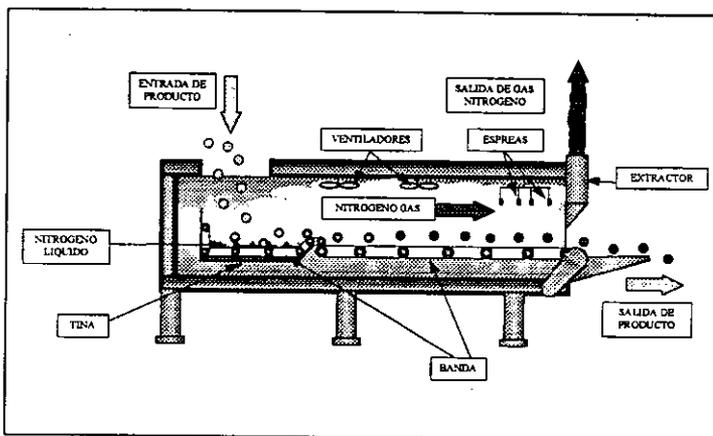


Figura 34. Diagrama de túnel de congelación con tina de inmersión. Cortesía. Cryoinfra S.A. de C.V.-Air Products

El camarón entra en una tina la cual contiene nitrógeno líquido a un nivel ya determinado, este baño es de 5 a 50 segundos dependiendo de las dimensiones del producto y características del proceso.

El nitrógeno líquido de la tina absorbe el calor del producto convirtiéndose en gas. Este gas generado por el intercambio térmico es dirigido hacia la zona del túnel por medio de ventiladores, con el fin de aprovechar el calor sensible del nitrógeno gaseoso.

El baño con nitrógeno líquido se realiza con el fin de darle al producto una apariencia IQF, evitar el apelmazamiento y adherencia a la banda, generándose una costra superficial de hielo en el producto (congelación instantánea del agua superficial)

Al salir del baño el camarón pasa a una banda que lo conduce a través de un túnel con gas nitrógeno. En esta parte del túnel se aprovecha el calor sensible que es capaz el nitrógeno gaseoso de absorber hasta alcanzar una temperatura entre $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$, (entre más caliente salga el nitrógeno gaseoso se aprovecha más su calor sensible).

Al final del túnel el producto debe salir a temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en el centro y el nitrógeno gaseoso es enviado a la atmósfera por medio de extractores.

Fenómenos de transferencia de calor en el equipo

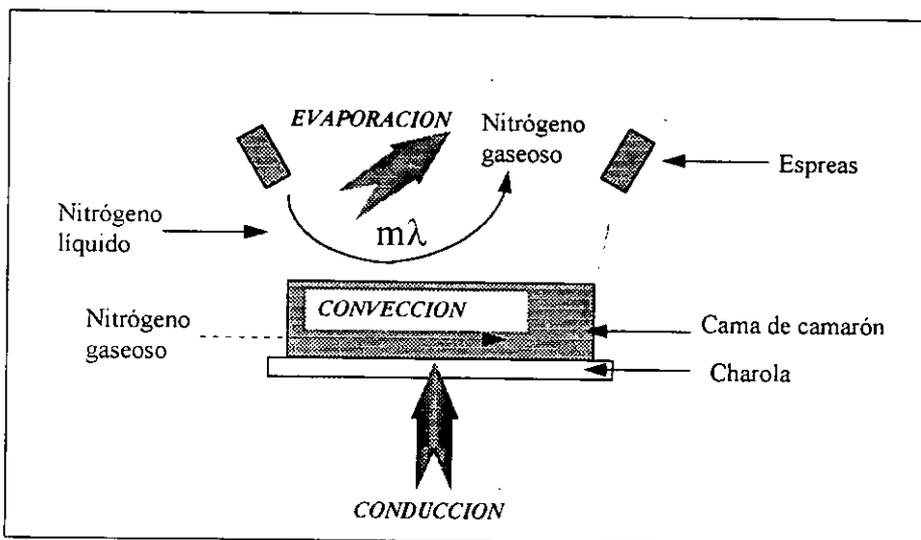


Figura 35. Fenómenos de transferencia de calor en el equipo.

En la congelación criogénica existen 2 mecanismos principales de transferencia de calor: conducción y convección (figura 35).

Conducción. Este mecanismo se lleva a cabo por la transferencia de calor del camarón a la malla, esta transferencia tiene lugar en la interface (lugar de contacto) entre la malla y la placa de camarón las cuales se encuentran a diferentes temperaturas.

Convección. Al entrar en contacto el nitrógeno líquido con la superficie del camarón, el primero absorbe un calor igual a su masa por el calor latente de vaporización (47.46 Kcal/Kg). Este fenómeno de evaporación puede considerarse un mecanismo de convección (Kakaç, 1993) que involucra cambio de fase.

El gas generado absorbe calor dentro de la cámara en tanto es desalojado del equipo. Este gas continua retirando calor del camarón debido a que al evaporarse el gas conserva una temperatura de -196 °C, la cual va incrementando conforme absorbe calor (puede absorber hasta 43.38 °Kcal/Kg si alcanza una temperatura de -14 °C a la salida del equipo)

Relación de consumo de nitrógeno

El alimento que pasa a través de un congelador criogénico requiere de una cantidad de nitrógeno líquido para alcanzar cierta temperatura de congelación. A esta cantidad se le denomina relación de consumo y se puede definir como "la cantidad de nitrógeno líquido utilizada para hacer descender la temperatura de un alimento".

El valor de esta relación de consumo depende de variables como:

- Presión del sistema
- Composición del alimento
- Temperatura de entrada y salida del alimento
- Temperatura del nitrógeno gaseoso al salir del equipo
- Pérdidas de calor por el equipo.

Esta relación de consumo tiene unidades de nitrógeno líquido /Kg de Alimento.

Para realizar el cálculo se parte de la siguiente fórmula:

$$\frac{(\text{Kcal de producto})}{(\text{Kcal de Li N}_2 + \text{Kcal de Gas N}_2)} * 1.2$$

Donde:

Kcal de producto. Kcal a retirar del alimento desde la °T inicial a la °T de congelación.

Kcal de Li N₂. Kcal que es capaz de retirar el nitrógeno líquido.

Kcal de Gas N₂. Kcal que es capaz de retirar el nitrógeno gaseoso.

1.2. Consideración hecha debido a la eficiencia de los equipos de congelación.

En forma práctica el cálculo de calor que es capaz de retirar el nitrógeno tanto líquido como gaseoso a una presión y temperatura de salida del equipo es por gráfica. Así de acuerdo a la figura 24 la cantidad de calor que es capaz de retirar el nitrógeno en un sistema con 2 Kg/cm² y gases de salida a -14 °C es de 90.3 Kcal/Kg.

Se puede obtener un valor similar realizando la interpolación de tablas de entalpía de nitrógeno a los valores de presión y temperatura antes mencionados (378.005 KJ/Kg). (Cleland & Valentes, 1997)

Ejemplo:

CALCULO DE CARGAS TERMICAS PARA LA CONGELACION DE CAMARON

Humedad promedio del alimento	%H ₂ O = 78
Temperatura de entrada a la congelación	TEC = 10 °C
Temperatura de salida a la congelación	TSC = -20 °C
Punto inicial de congelación	PC = -2.2 °C
Calor antes del punto de congelación	QAPC = C _p APC · (TEC - PIC)
Calor después del punto de congelación	QDPC = C _p DPC · (PIC - TSC)
Calor Latente	QL = 80 · $\frac{\%H_2O}{100}$
Carga térmica total	QTOTAL = QAPC + QL + QDPC

$$QAPC = 10.053 \quad \text{Kcal/kg}$$

$$QDPC = 7.725 \quad \text{Kcal/kg}$$

$$QL = 62.4 \quad \text{Kcal/kg}$$

$$QTOTAL = 80.178 \quad \text{Kcal/kg}$$

CALCULO DE LA RELACION DE CONSUMO

Suponiendo una presión de 2 Kg/cm² y una temperatura de salida de -14 °C

$$\text{Cantidad de Nitrógeno Líquido} \quad CLIN = \frac{80.178}{90.3} \quad \text{Kcal/kg}$$

$$CLIN = CLIN \cdot 1.2 \quad \text{Kcal/kg}$$

$$CLIN = 1.065 \quad \text{Kg de LIN/Kg de Alimento}$$

CAPITULO 2

DESARROLLO EXPERIMENTAL

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

(Ver página 68 a 72 para cuadro metodológico)

PROBLEMA

Determinar el efecto de la congelación criogénica en el camarón *Penaeus Duorarum* D. (Rosado).

2.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

Como se estudio en los antecedentes, existen un gran factores que afectan la congelación de camarón. Para la definición de las variables se ha recurrido al Diagrama de ISHIKAWA (espina de pescado), figura 36 y 37.

Este diagrama se ha dividido en dos partes fundamentales: una correspondiente al producto y otra a los métodos de congelación. La espina correspondiente al producto se ha dividido en características propias del camarón tales como: especie, origen, talla, sensoriales (textura, color, sabor), sanitarias (microorganismos, químicos), y fisicoquímicos (pH, % de agua, melanosis).

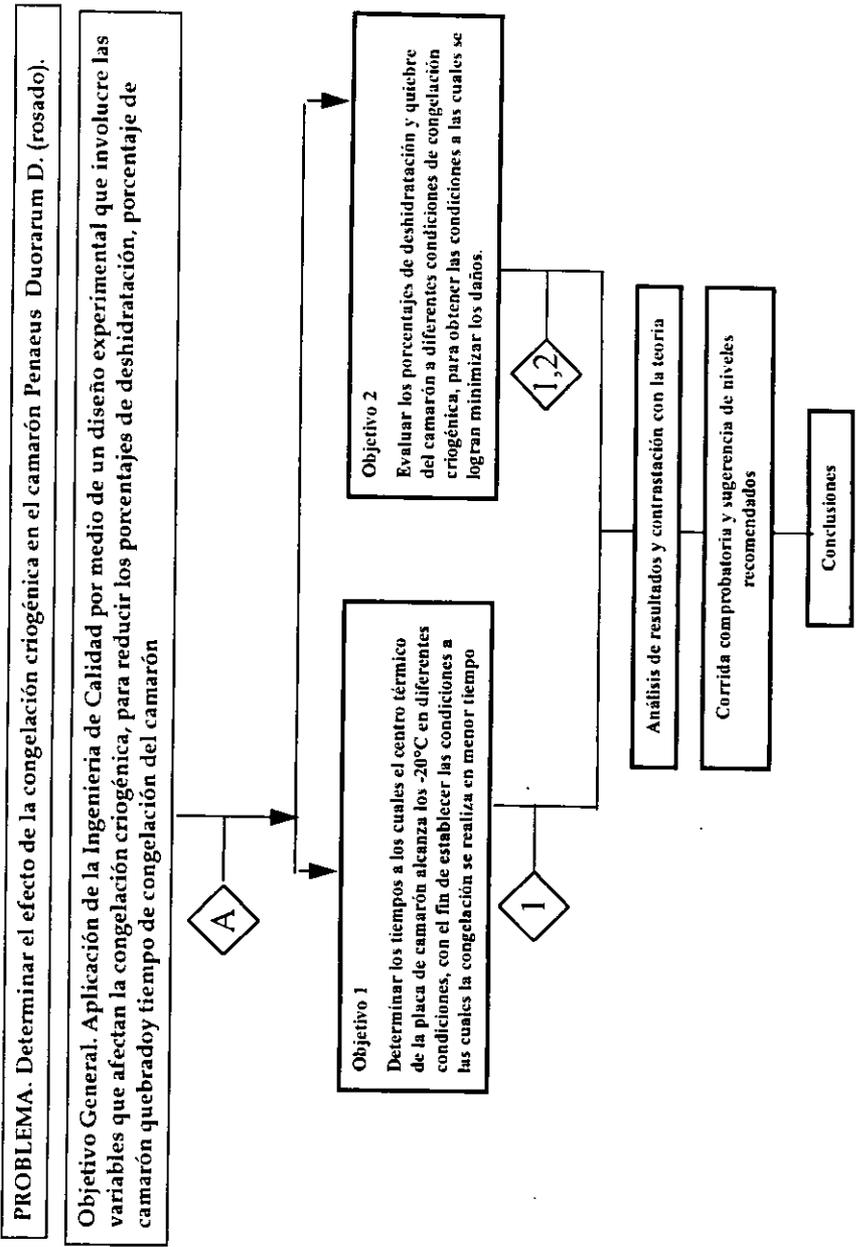
Estas características nos indican el grado de calidad del camarón antes de la congelación (hay que recordar que la congelación no mejora la calidad sólo ayuda a mantenerla). La geometría depende del acomodo y forma de congelación del camarón, la cual es un factor que determina la velocidad con la que se lleva a cabo la congelación.

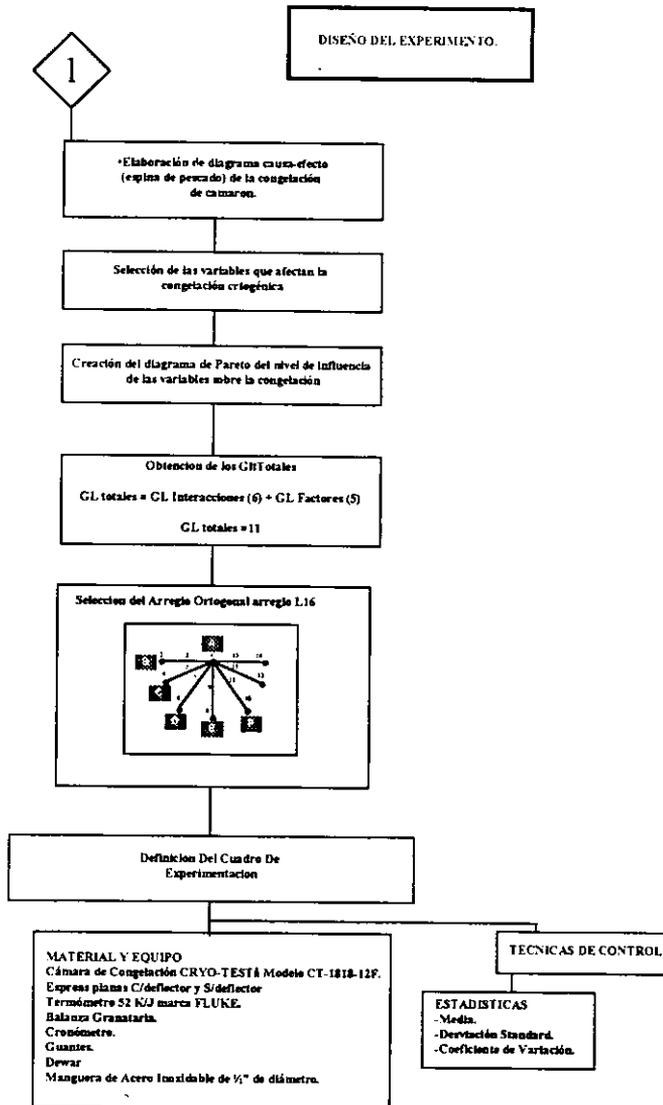
Los métodos de congelación de camarón se han dividido en sistemas mecánicos y sistemas criogénicos. Como métodos mecánicos de congelación de camarón se consideran los sistemas de contacto directo (por salmuera, de placas) y contacto indirecto (por chorro de aire), los cuales a su vez son divididos en sistemas batch (congelador común, Blast Freezer) y sistemas continuos (Giro-Freezer, Lecho Fluidizado, Multilecho).

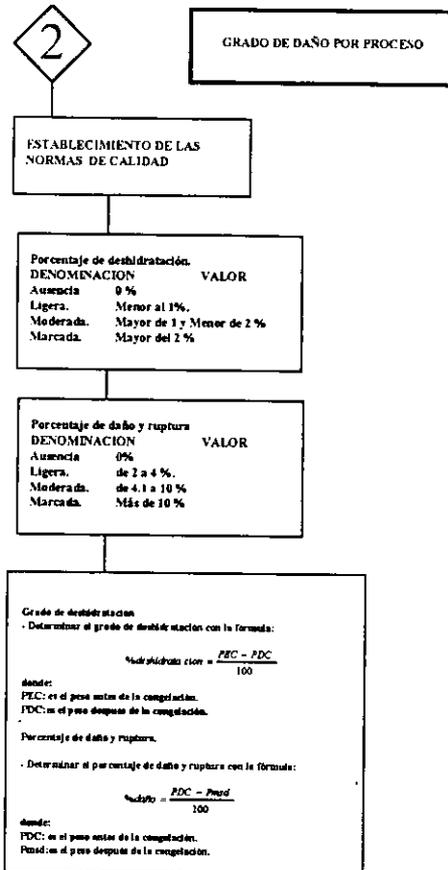
Es importante señalar que los sistemas mecánicos escogidos son los comunes en la congelación de camarón. Y las particularidades de cada uno ya fueron mencionadas en los antecedentes.

Los métodos criogénicos se dividen en batch y continuos, estos últimos se dividen a su vez en sistemas con tina y sin tina, cuya función fue analizada en su oportunidad.

**CUADRO
METODOLOGICO**







2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

66

2.1 DEFINICIÓN DE VARIABLES

66

2.2 SELECCION DE VARIABLES

El diseño experimental contempla el estudio del método de congelación criogénico del camarón, motivo por el cual, sólo los factores involucrados en este sistema han sido seleccionados. Debido a los recursos de equipo existentes, el estudio se ha estructurado en base al manejo de una gabinete diseñado expresamente para pruebas de este tipo, tomando las variables de un método batch de congelación criogénica.

Como variables que afectan a la congelación en gabinete del camarón, se han identificado 5: Temperatura interior del equipo, Espesor de placa, Envase, Acomodo, Presión de sistema y Talla del Camarón (Diagrama Ishikawa de la experimentación de la congelación criogénica de camarón -figura 37-). A continuación se da una breve explicación de las razones por las cuales se seleccionaron estas variables.

Temperaturas del interior del equipo.

El gradiente de temperaturas entre el producto y el interior del equipo afecta en forma directa a la transferencia de calor. Debido a que el intervalo en el cual se maneja la congelación criogénica de camarón dentro de túneles y gabinetes criogénicos corre de $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, se ha decidido el uso de estos 2 límites como niveles para esta variable.

Espesor de placa

La distribución del camarón en la bandeja forma una placa. El espesor de la placa influye en la velocidad de transferencia de calor en el producto en forma inversa de acuerdo con la Ecuación de Fourier de Transferencia de calor en estado inestable.

Para conocer el efecto del espesor sobre el tiempo de congelación y las características físicas se han establecido dos niveles para esta variable:

1° nivel en espesor una placa de camarón.

2° nivel en espesor dos placas de camarón.

Envase.

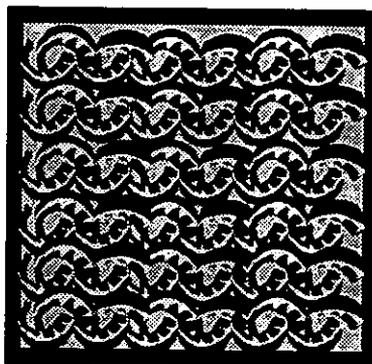
Se propone el uso de una charola de unicel como recipiente. El uso de envase facilita el manejo de la placa de camarón. Como inconveniente tenemos que el envase frena la transferencia de calor. Se propone el uso de el envase para conocer su efecto en el tiempo de congelación y las características físicas del camarón.

Acomodo.

El acomodo del camarón en la charola varía el volumen de la placa en función de la masa. La transferencia de calor en la placa puede verse modificada. Se propone la experimentación para conocer cual es su efecto en el tiempo de congelación y sus características físicas. Se han escogido dos niveles de variación. Los cuales se muestran a continuación.



1er. Acomodo



2o Acomodo

Figura 38. Acomodo de los camarones en la experimentación

Presión en el sistema.

El incremento en la presión de el sistema provoca una disminución en la cantidad de calor que el nitrógeno es capaz de retirar del camarón. Se han planteado dos niveles, con el objetivo de conocer el efecto de esta variable sobre el tiempo de congelación y las características físicas del producto.

Los dos niveles son:

2 Kg/cm². Presión utilizada comúnmente, suficiente para llevar el líquido nitrógeno del tanque a la cámara o túnel de congelación.

5 Kg/cm². Presión en la cual las pérdidas por flasheo son mayores a un 15%, además a esta presión están calibradas las válvulas de seguridad del tanque.

Talla del camarón.

La variación en la talla del camarón modifica el volumen con respecto a la masa, y así la transferencia de calor puede verse modificada. Se han establecido dos tamaños, U-15 y 21-25, con el fin de determinar el efecto de la talla de camarón sobre el tiempo de congelación.

2.3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

Objetivo General

Aplicación de la Ingeniería de Calidad por medio de un diseño experimental que involucre las variables que afectan la congelación criogénica, para reducir los porcentajes de deshidratación, porcentaje de camarón quebrado y tiempo de congelación del camarón.

Objetivo 1

Determinar los tiempos a los cuales el centro térmico de la placa de camarón alcanza los -20°C en diferentes condiciones, con el fin de establecer las condiciones a las cuales la congelación se realiza en menor tiempo

Variables Independientes:

Temperatura del equipo
 Espesor de placa del camarón
 Envase
 Acomodo
 Presión en el sistema.
 Talla de camarón

Variable Dependiente: Tiempo de Congelación.

Variables de respuesta: Tiempo de Congelación.

Niveles de variación:

	Nivel 1	Nivel 2
Temperatura del equipo	- 80 °C	-100 °C
Espesor de placa del camarón	1 placa	2 placas
Envase	Con envase	Sin envase
Acomodo	Orientación 1	Orientación 2
Presión en el sistema.	2 Kg/cm2	5 Kg/cm2
Talla de camarón	U-15	21-25

Número de repeticiones: 3

Objetivo 2

Evaluar los porcentajes de deshidratación y porcentaje de camarón quebrado a diferentes condiciones de congelación criogénica, para obtener las condiciones a las cuales se logran minimizar los daños.

Variables Independientes:

Temperatura del equipo
 Espesor de placa del camarón
 Envase
 Acomodo
 Presión en el sistema.
 Talla de camarón

Variable Dependiente: Tiempo de congelación.

Variables de respuesta: Porcentaje de deshidratación.
 Daños en estructura

Niveles de variación:

	Nivel 1	Nivel 2
Temperatura del equipo	- 80 °C	-100 °C
Espesor de placa del camarón	1 placa	2 placas
Envase	Con envase	Sin envase
Acomodo	Orientación 1	Orientación 2
Presión en el sistema.	2 Kg/cm2	5 Kg/cm2
Talla de camarón	U-15	21-25

Número de repeticiones: 3

2.4 LOCALIZACIÓN DEL CENTRO TÉRMICO.

Variables Independientes: Posición del termopar

Variable Dependiente: Temperatura

Variables de respuesta: Localización del centro térmico.

MATERIAL y EQUIPO

1. Cámara de Congelación CRYO-TEST® Modelo CT-1818-12F.
2. Espreas.
3. Termómetro 52 K/J marca FLUKE.
4. Cronómetro.
5. Guantes.
6. Dewar :
7. Manguera de Acero Inoxidable de ½" de diámetro.
8. Nitrógeno Líquido.

TÉCNICAS DE CONTROL

Estadísticas.

- Media.
- Desviación Standard.
- Coeficiente de Variación.

PROCEDIMIENTO.

- Colocar 5 termopares en forma de cruz, cerca de la superficie (se divide el grosor de la placa en tres y en las divisiones se insertan los termopares), ubicando 4 en los extremos y 1 al centro. Colocar 5 termopares en forma de cruz, cerca del fondo ubicando 4 en los extremos y 1 en el centro.
- Para encontrar el punto de ubicación de los termopares sobre el eje se divide la placa en cuatro, tanto en forma longitudinal como horizontal, siendo en las divisiones donde se insertan los termopares (para la experimentación se coloca el termopar central a 15 cm de la lateral y los otros dos a 7.5 cm de la misma). La siguiente figura muestra la colocación de los termopares.

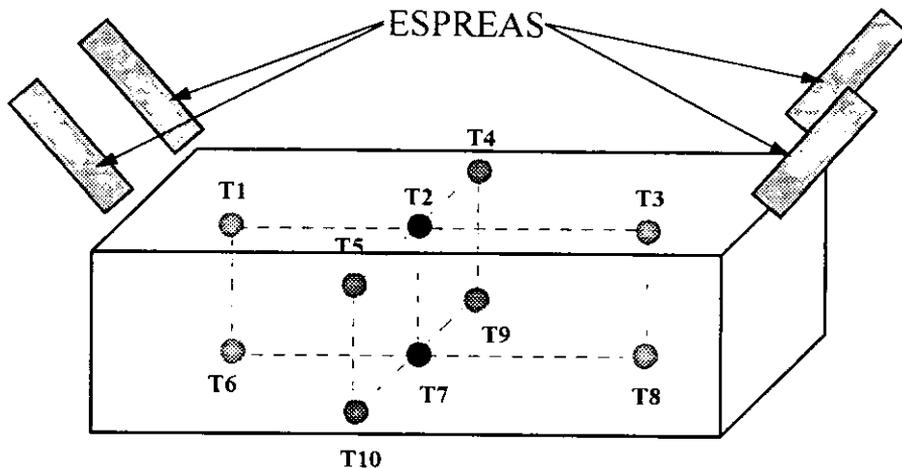


Figura. 39. Diagrama del arreglo de los termopares en la placa de camarón

- Se corren las pruebas a la temperatura de -80°C (en este caso no importa la temperatura del medio, pues el centro térmico siempre va a ser el punto más caliente de la placa)
- Se cronometra, y se registra la temperatura de los termopares a intervalos de 20 seg., en un lapso de 5 minutos.
- Se grafican los resultados, el termopar que registre la temperatura más caliente señala el centro térmico.
- Para encontrar el centro térmico se determina la pendiente de los termopares, la pendiente más pequeña y la ordenada al origen más grande señalan el centro térmico.

2.5 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se propone realizar el diseño experimental en base a un arreglo ortogonal de Taguchi L16. Los factores en estudio se han ordenado en un Diagrama de Pareto de acuerdo a su influencia estimada sobre el fenómeno de congelación:

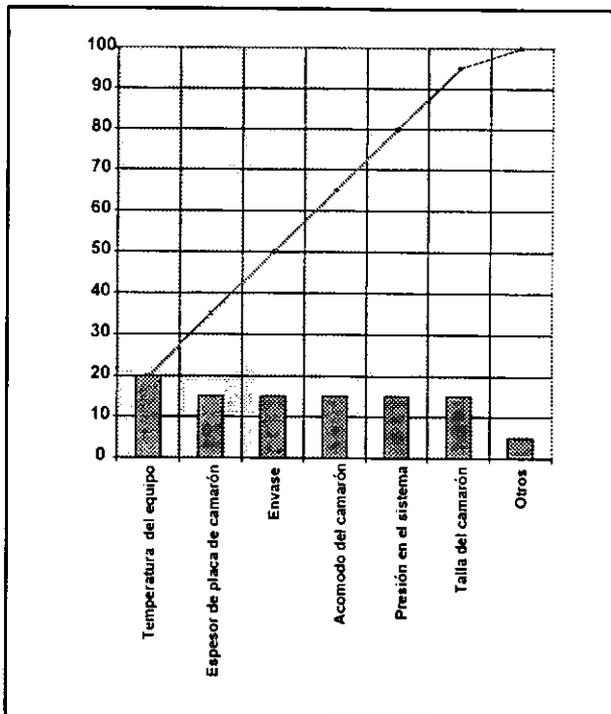


Figura 40. Diagrama de Pareto de la congelación criogénica

Teniendo ya los factores y sus porcentaje de importancia se procede a la obtención del arreglo Ortogonal.

Obtención del arreglo Ortogonal.

El experimento tiene cuatro factores y dos niveles. Los grados de libertad por factores se obtienen de la siguiente manera:

$$GL \text{ POR FACTOR} = N^{\circ} \text{ de niveles} - 1$$

ESTA TESIS NO DEBE
 SALIR DE LA BIBLIOTECA

GL POR FACTOR:

- A) 2-1=1 @ Temperatura del equipo.
- B) 2-1=1 @. Espesor de placa del camarón.
- C) 2-1=1 @ Envase.
- D) 2-1=1 @ Acomodo.
- E) 2-1=1 @ Presión en el sistema.
- F) 2-1=1 @ Talla de camarón.

La suma de los grados de libertad por factores es:

$$\text{GL por Factores } \text{GLA}+\text{GLB}+\text{GLC}+\text{GLD}+\text{GLE}+\text{GLF} = 6$$

GRADOS DE LIBERTAD POR INTERACCIONES

Una interacción es definida como el producto de los grados de libertad de los factores a interactuar.

Los grados de libertad por interacciones son iguales a la suma de los grados de libertad por interacciones que se desean en el experimento:

$$\begin{array}{r}
 \text{GLA} \cdot \text{GLB} = 1 \\
 \text{GLA} \cdot \text{GLC} = 1 \\
 \text{GLA} \cdot \text{GLD} = 1 \\
 \text{GLA} \cdot \text{GLE} = 1 \\
 \hline
 \Sigma = 5
 \end{array}$$

GL TOTALES

Los grados de libertad totales es la suma de los grados de libertad por interacciones más los grados de libertad por factores:

$$\text{GL totales} = \text{GL Interacciones} + \text{GL Factores}$$

$$\text{GL totales} = 6 + 5 = 11$$

Teniendo los grados de libertad totales y el número de variables, se escoge el arreglo Ortogonal más conveniente para nuestra experimentación. Dentro de esta selección se debe tener en cuenta cuales son las interacciones entre las variables.

Debido a que se desea saber la interacción de la temperatura con las demás variables y considerando el número de factores y los grados de libertad totales el arreglo Taguchi que cumple con estas consideraciones es el **arreglo L16. (figura siguiente).**

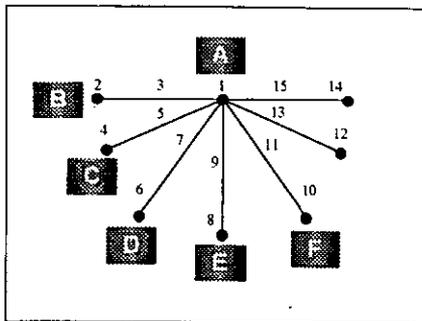


Figura 41. Arreglo ortogonal L16, seleccionado para la experimentación.

Siendo:

- A) Temperatura del equipo.
- B) Espesor de placa del camarón.
- C) Envase.
- D) Acomodo del camarón.
- E) Presión en el sistema.
- F) Talla de camarón

Teniendo ya la selección del arreglo ahora lo que corresponde es definir el cuadro de eventos en la experimentación, cuadro que se presenta a continuación.

# E	Temperatura (A)	Espesor de placa (B)	Envase (C)	Acomodo (D)	Presión en el sistema (E)	Talla de Camarón (F)
1.	- 80 °C	1 PLACA	CON ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	2 Kg/cm ²	21-25
2.	- 80 °C	1 PLACA	CON ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	5 Kg/cm ²	U-15
3.	- 80 °C	1 PLACA	SIN ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	2 Kg/cm ²	21-25
4.	- 80 °C	1 PLACA	SIN ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	5 Kg/cm ²	U-15
5.	- 80 °C	2 PLACA	CON ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	2 Kg/cm ²	U-15
6.	- 80 °C	2 PLACA	CON ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	5 Kg/cm ²	21-25
7.	- 80 °C	2 PLACA	SIN ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	2 Kg/cm ²	U-15
8.	- 80 °C	2 PLACA	SIN ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	5 Kg/cm ²	21-25
9.	-100 °C	1 PLACA	CON ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	2 Kg/cm ²	21-25
10.	-100 °C	1 PLACA	CON ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	5 Kg/cm ²	U-15
11.	-100 °C	1 PLACA	SIN ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	2 Kg/cm ²	21-25
12.	-100 °C	1 PLACA	SIN ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	5 Kg/cm ²	U-15
13.	-100 °C	2 PLACA	CON ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	2 Kg/cm ²	U-15
14.	-100 °C	2 PLACA	CON ENVASE	2 ^{DO} ACOMODO	5 Kg/cm ²	21-25
15.	-100 °C	2 PLACA	SIN ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	2 Kg/cm ²	U-15
16.	-100 °C	2 PLACA	SIN ENVASE	1 ^{ER} ACOMODO	5 Kg/cm ²	21-25

Cuadro 7. Cuadro de eventos y condiciones de la experimentación L16 propuesta.

2.6 CONTROL DE LA MATERIA PRIMA

Tipo de camarón: Subtipo A (crudo y entero). (En acuerdo a la Normas Ocean Garden)

Especie: P. duorarum (rosado)

Tallas: U-15 y 21-25.

Peso aproximado por placa: 1 Kg..

Temperatura inicial de la placa 13-15 °C.

2.7 MATERIAL y EQUIPO

1. Cámara de Congelación CRYO-TEST® Modelo CT-1818-12F.
2. Termómetro 52 K/J marca FLUKE con termopares incluidos tipo K .
3. Balanza Granataria.
4. Balanza electrónica.
5. Cronómetro.
6. Guantes.
7. Dewar.
8. Manguera de Acero Inoxidable de ½" de diámetro.
9. Nitrógeno Líquido.

2.8 TÉCNICAS DE CONTROL.

Estadísticas.

Media.

Desviación Estándar.

Coefficiente de Variación.

Anova

Características físicas. (Anexo 1)

Tabla de variables de respuesta y su forma de evaluación durante el tratamiento de datos

Tratamiento Estadístico	Forma de evaluación	Variable de respuesta a evaluar
ANOVA (Taguchi) Ninguno	Experimental $\int_{t=0}^{t=fin} \Delta TMCp$	Tiempo de congelación Flujo de calor
Ninguno	$\left[\frac{\text{Area total} - \text{Area sin contacto}}{\text{Area total}} \right] * 100$	Area
Ninguno	$\left[\frac{\text{Calor transferido a } (-100^{\circ}\text{C}) - \text{Calor transferido a } (-80^{\circ}\text{C})}{\text{Calor transferido a } (-100^{\circ}\text{C})} \right] * 100$	Interacción Envase-Temperatura
ANOVA (Taguchi)	Experimental	% Deshidratación
ANOVA (Taguchi)	Experimental	% de camarón quebrado

CAPITULO 3

TRATAMIENTO Y ANALISIS DE DATOS

3. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este último capítulo se elabora el tratamiento estadístico y análisis de datos de la experimentación propuesta. En primer término se determinó el centro térmico de la placa de camarón. Este análisis se realizó en dos formas: Gráfica y Estadística.

En una segunda fase se analizaron las corridas experimentales según el método Taguchi, se determina la influencia de los factores, se estudian las interacciones y se proporciona una explicación posible acerca del comportamiento de estas variables.

3.1 DETERMINACION DEL CENTRO TERMICO

Se determinó el centro térmico de dos maneras:

- *Gráfica*: el termopar con lecturas de temperatura más calientes a lo largo de la corrida, señala el centro térmico.
- *Estadística*: la historia térmica que cuente con la pendiente más pequeña, señala el centro térmico y la ordenada al origen más grande.

Debido a que en el diseño experimental se plantea el uso de 2 tamaños de camarón, y la variación del número de placas (1 ó 2). Se corren pruebas para las dos corridas extremas del diseño, en cuanto a grosor de placa se refiere: tamaño 21-25 - 1 placa (grosor más delgado de placa -1.5 cm.-); tamaño U-15 - 2 placas (grosor más grande de placa -3.5 cm.-). Las corridas fueron llevadas a cabo en las mismas condiciones: sin ningún tipo de envase, acomodo 1, presión de 5 Kg/cm² y temperatura de -80 °C.

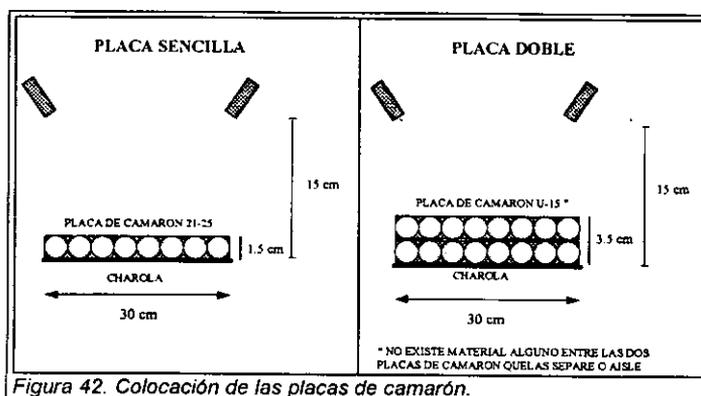


Figura 42. Colocación de las placas de camarón.

Se estima que si no existe diferencia en la ubicación del centro térmico en estas dos corridas, el centro térmico será el mismo en cualquier otra combinación dentro del diseño experimental.

La separación entre termopares se observa en la figura 43, horizontalmente:

distancia entre termopares: 7.5 cm.

distancia de los termopares más alejados al centro, a los extremos: 7.5 cm.

verticalmente (tamaño 21-25 - 1 placa de camarón, lado derecho de la figura):

distancia entre termopares: 0.5 cm.

distancia de los termopares a los extremos: 0.5 cm.

verticalmente (tamaño U-15 - 2 placas de camarón), lado izquierdo de la figura:

distancia entre termopares: 1.2 cm.

distancia de termopares a los extremos: 1.2 cm.

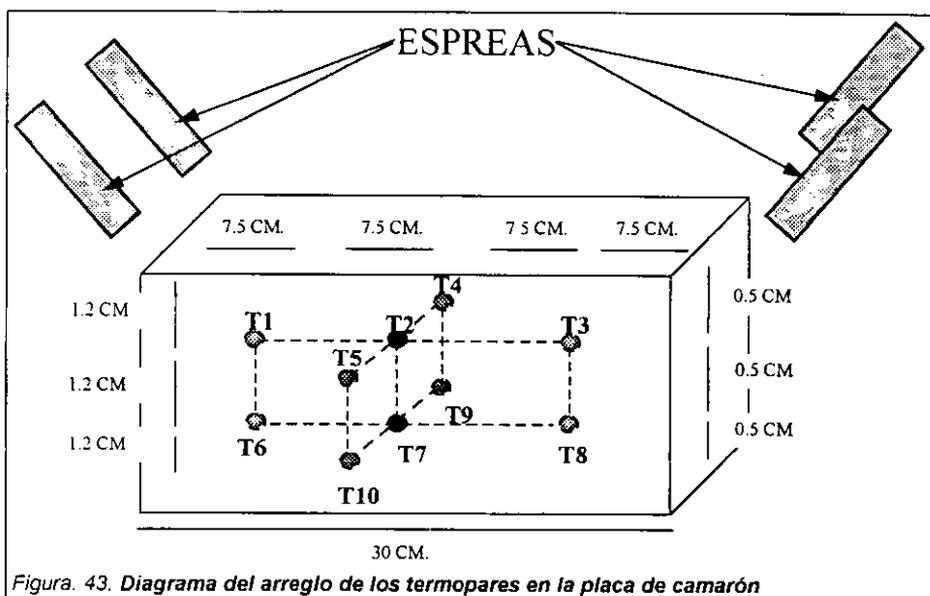


Figura. 43. Diagrama del arreglo de los termopares en la placa de camarón

Para el análisis se presentan 2 historias térmicas; la primera con tamaño 21-25 - 1 placa de camarón (figura 44) y la segunda con tamaño U-15 - 2 placas de camarón (figura 47).

El experimentar con los parámetros arriba mencionados no influye en la determinación del centro térmico, siempre y cuando se mantengan en los dos tipos de corridas.

Análisis de las variaciones de temperatura en la historia térmica en las zonas de la placa sencilla con talla de camarón chica.

Se escogió la relación tamaño 21-25 - 1 placa de camarón debido a que el grosor resultado de esta combinación es el más delgado dentro del diseño experimental (1.5 cm.). Si el centro térmico en este grosor de placa se encuentra en el mismo punto que en la otra combinación las demás corridas ubicarán sus centros térmicos en el mismo lugar, puesto que la localización de los termopares se realiza dividiendo el plano en 4 y el grosor en 3 siendo las intersecciones los puntos de localización de los termopares. (ver localización del centro térmico -Capítulo 2-).

En la figura 44 se observa un descenso constante de la temperatura de T3 y T8, pero al rebasar el punto teórico de congelación del camarón (-2.2 °C) la pendiente aumenta, esto puede deberse a que rebasado este punto se incrementa la cantidad de agua congelada rápidamente.

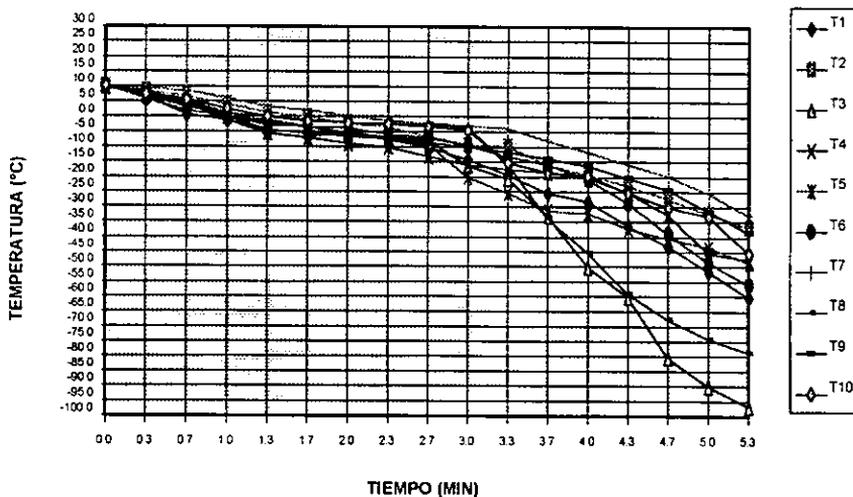
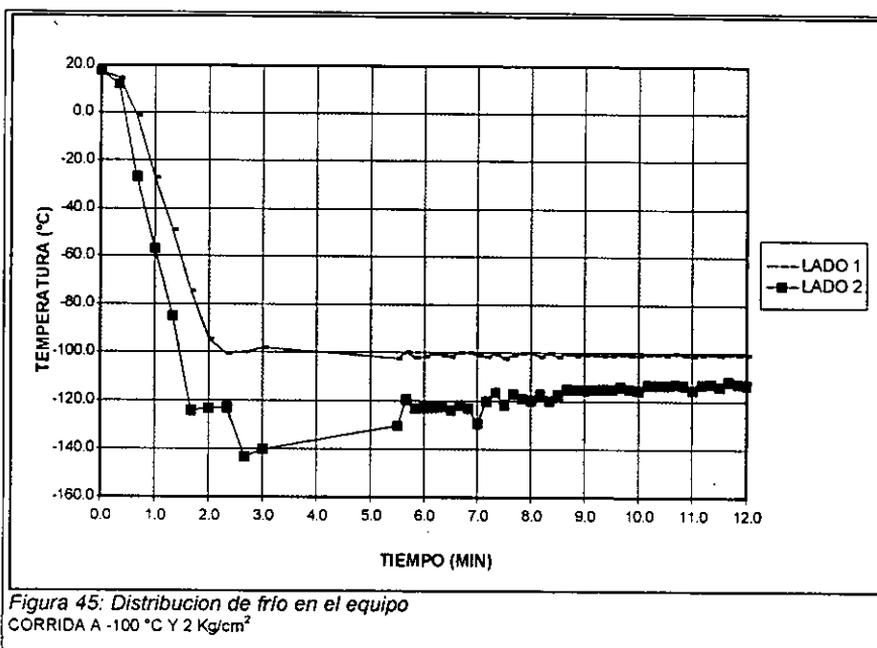


Figura 44. Historias térmicas de las zonas en la placa de camarón (1 placa)
 Corrida en las siguientes condiciones: T=80 °C, 1 Placa, Sin envase, Acomodo 1,
 Presión de 5 Kg/cm², Talla de camarón chica.

Al incrementar el agua sólida en T3, se incrementa la transferencia de calor por conducción, disminuyendo la temperatura con mayor rapidez (figura 44, historia térmica 3, minuto 2.7).

La temperatura de T8 difiere de T3 entre los 5 °C (a los 4 minutos) y los 20 °C (al final de la corrida). Estas diferencias, pueden deberse a que mientras T3 recibe nitrógeno líquido (el cual debe absorber 92 Kcal/Kg para alcanzar el estado gaseoso a los -14 °C), T8 es enfriada por nitrógeno gaseoso el cual es capaz de absorber la mitad del calor.

T1 tiene una diferencia de temperaturas con T3 que va de 20 °C (minuto 4) a 30 °C (final de la corrida). Para explicar esta variación se realizó una corrida independiente (figura 45), en la cual se colocaron termopares a cada lado del equipo (donde se encuentran T1 y T3 en ambas corridas), sin producto, con el fin de establecer las diferencias.



En la figura 45 se pueden observar diferencias en el equipo que van desde los 12 °C (minuto 9 a 12), hasta los 30 °C (minuto 5.3), lo cual explica las desigualdades tan grandes entre T1 y T3.

La figura 46 muestra los porcentajes teóricos de agua congelada a diferentes temperaturas, valores a los cuales se recurrió para explicar las distribuciones de temperatura en la placa de camarón.

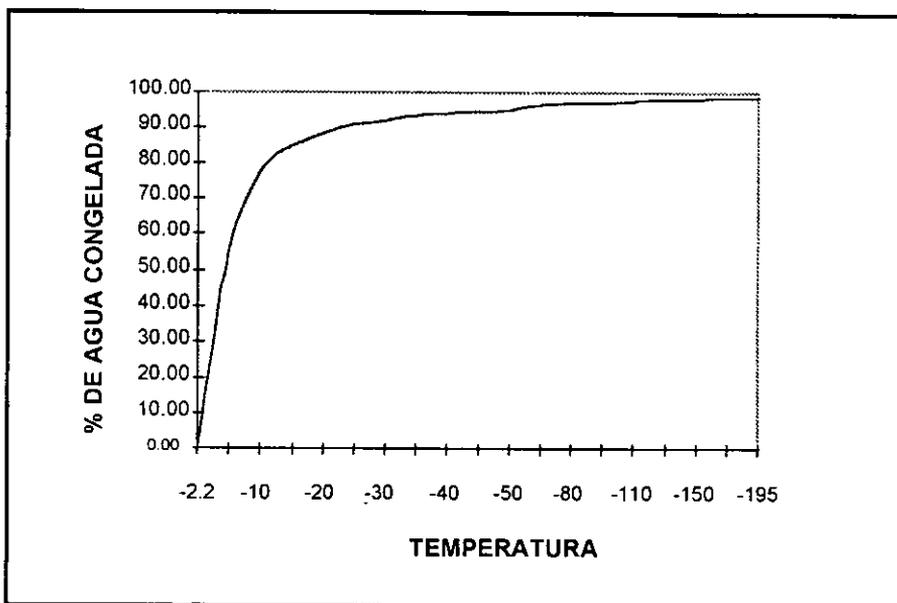


Figura 46. Fracción de agua congelada en alimentos con alta humedad durante el proceso de congelación. Fuente: Cleland, R.T., 1998

Las diferencias entre T6 y T8 se incrementan a partir del minuto 3.7, en donde ya se ha congelado (teóricamente) el 90% del agua del camarón. La diferencia de temperatura de 20 °C entre T1 y T3 se refleja en T6 y T8 debido a que la transferencia por calor es mayor en la fase sólida.

Entre T4 y T9 existen diferencias de 2 a 3 °C durante el enfriamiento. Cuando su temperatura rebasa el punto de congelación (-2.2 °C -minuto 2-) las diferencias se incrementan debido a que mientras T4 alcanza los -10 °C (calculando un 70% de agua congelada -figura 46-), T9 tiene -5 °C (50% de agua congelada -figura 46-), por lo tanto la transferencia de calor por conducción es mayor en T4 que en T9.

Otra razón posible es que T4 alcanza a recibir cierta cantidad de nitrógeno líquido, puesto que se encuentra a 7.5 cm del baño directo del nitrógeno y T9 es enfriada principalmente con gas nitrógeno por encontrarse en la parte posterior, el cual es capaz de absorber como máximo 43.5 Kcal/Kg.

T5 y T10 presentan diferencias similares a T4 y T9, siendo atribuidas a la distribución de temperaturas del equipo y tiempos en los cuales los puntos en cuestión rebasaron el punto inicial de congelación.

T7 es el punto más caliente debido a que T10, T9, T8 y T6 tienen una mayor zona de contacto con el gas nitrógeno que T7, adquiriendo una temperatura más baja en un menor tiempo. Teniendo T7 diferencias de temperatura con el más cercano (T2 y T9) de 5 °C.

Análisis de las variaciones de temperatura en la historia térmica de las zonas de la placa doble con talla de camarón grande.

Se escogió este tipo de corrida porque es el arreglo con mayor grosor de placa (3.5 cm.). Se montaron 2 placas de camarón U-15 sin ningún material aislante en medio, esto es, las dos placas en contacto directo.

Las historias térmicas de la placa doble son más irregulares que en la placa sencilla, atribuido a su cercanía con las espreas (1.7 cm. más cerca que la placa sencilla -figura 42-). Teniendo disminuciones de temperatura pronunciadas con un rocío prolongado de nitrógeno.

T3 presenta una disminución brusca de temperatura entre el minuto 0.3 y el 1.3. El paso de los 5 °C a los -77 °C en este periodo, puede ser debido al incremento en el agua congelada (pasando de 0% a casi un 95% en 0.3 min. - figura 46-).

El descenso de temperatura es atribuido a que la transferencia de calor por conducción se incrementa al incrementar el porcentaje de agua sólida. Además al estar el agua ya congelada, el único calor a retirar del camarón es el calor sensible de postenfriamiento (7.56 Kcal/Kg de -2.2 °C a -20 °C) comparado al calor total a retirar de 15 °C a -20 °C (84.12 Kcal).

T3 estabiliza su temperatura después del minuto 1.7, bajando más allá de la que tiene programado el equipo (-80 °C), debido a que el nitrógeno líquido tiene -196 °C, tendiendo el producto a alcanzar esta temperatura. (ver figura 45 -lado 2-)

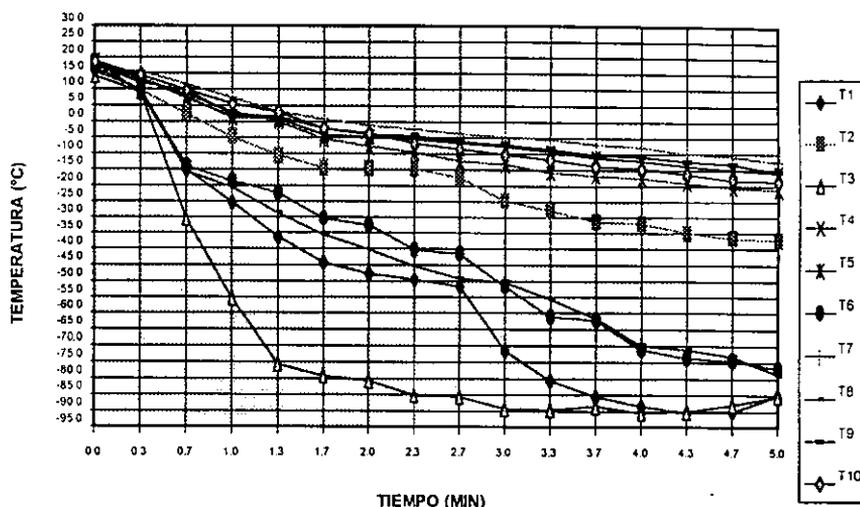


Figura 47. Historias térmicas de las zonas en la placa de camarón (2 placas)

Corrida en las siguientes condiciones: T=80 °C, 2 Placas, Sin envase, Acomodo 1, Presión de 5 Kg/cm². Talla de camarón grande.

T1 pasa de los 5 °C a los -15 °C en 0.3 minutos (en el periodo de los 0.3 y 0.7 minutos). La diferencia de temperatura con T3 es la ubicación de estas zonas dentro del equipo (ver figura 45) resultando hasta de 30 °C en el intervalo de tiempo entre los 1.3 y 2.7 minutos, (teniendo una cantidad de agua congelada del 90% en ambas zonas - ver figura 46-).

T8 y T6 no presentan diferencias grandes, pero debido a que su calor es transferido principalmente por conducción a T1 y T3 respectivamente, el cambio de temperatura del minuto 0.3 al 0.7 es repentino pasando de los 5 °C a los -15 °C (congelándose de un 75 a un 80 % del agua -ver figura 46-).

T4 y T5 presentan diferencias entre 5 y 10 °C debido a la distribución de nitrógeno líquido en estas zonas, siendo T5 más fría que T4.

T9 y T10 presentan diferencias entre 3 y 5 °C debido a que el flujo de calor depende del comportamiento de T4 y T5 respectivamente, además de que el nitrógeno gaseoso que roza la superficie, de estos últimos es más frío (proviene directamente de la evaporación de nitrógeno líquido y no de la recirculación).

T7 es la zona más caliente transfiriendo su calor a T6, T8, T9 y T10. El agua contenida en este punto se vuelve sólido hasta el minuto 2.7 llegando a un 80% de agua congelada al final de la corrida (ver figura 46). La otra forma de eliminación de calor en este punto es por convección al nitrógeno gaseoso que llega a rozar la superficie.

Debido a que no llega a congelarse el agua de esta zona hasta la mitad de la corrida (minuto 2.7) este punto se convierte en el centro térmico, limitado por el flujo de calor a las zonas circunvecinas.

Análisis Estadístico de 1 placa.

Para el análisis Estadístico se determinaron las pendientes de las historias térmicas. Los valores de las regresiones lineales para estos eventos se muestran a continuación:

		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10
Corrida	m	-0.22	-0.18	-0.51	-0.17	-0.22	-0.22	-0.19	-0.50	-0.13	-0.21
	b	18.80	21.64	69.80	12.44	20.35	23.67	32.19	76.90	10.13	28.42

Cuadro 8. Pendientes y ordenadas al origen de las historias térmicas (1 placa)

Corridas en las siguientes condiciones: $T_i = -80^\circ\text{C}$, 1 Placa, Sin envase, Acomodo 1, Presión de 5 Kg/cm^2 , Talla de camarón chica.

Con objeto de realizar un estudio más profundo se calcularon las pendientes a partir de cuando comienza la zona de congelación (-2.2°C).

T3 y T8 tienen las pendientes más pronunciadas (-0.51 y -0.50). T2, T4, T5, T7, T9 y T10 presentan diferencias de pendientes muy pequeñas: (-0.17 , -0.16 , -0.21 , -0.19 , -0.12 y -0.21) debido a que son enfriados principalmente con nitrógeno gaseoso y por conducción de las otras zonas. T4 y T5 (-0.16 y -0.21) presentan pendientes más grandes que T9 y T10 (-0.12 y -0.21), debido a que están en contacto con el gas más frío evaporado directamente del rocío de nitrógeno líquido.

T7 tiene una pendiente mayor (-0.19) que T2, T4 y T9, pero su ordenada al origen es alta (32.19), disminuye su temperatura con lentitud, con una curva de temperatura elevada, convirtiéndose en el centro térmico debido a que conserva una temperatura mayor que los demás puntos.

El análisis estadístico corrobora el análisis gráfico el cual señala a T7 como el centro térmico.

Análisis Estadístico de 2 placas.

		<i>T1</i>	<i>T2</i>	<i>T3</i>	<i>T4</i>	<i>T5</i>	<i>T6</i>	<i>T7</i>	<i>T8</i>	<i>T9</i>	<i>T10</i>
<i>Corrida</i>	m	-0.30	-0.14	-0.15	-0.06	-0.08	-0.26	-0.06	-0.24	-0.06	-0.08
	b	-10.6	1.66	-54.5	3.31	1.32	-3.16	6.73	-9.43	4.40	5.09

Cuadro 9. Pendientes y ordenadas al origen de la historia térmica (2 placas)

Corridas en las siguientes condiciones: $T_i = -80\text{ }^\circ\text{C}$, 2 Placas, Sin envase, Acomodo 1, Presión de 5 Kg/cm^2 , Talla de camarón grande.

Estas pendientes fueron determinados a partir del punto de congelación ($-2.2\text{ }^\circ\text{C}$) para poder ser más objetivo el estudio.

La pendiente de T3 (-0.14) es pequeña comparada con las demás, pero al observar su ordenada al origen (-54.5) se deduce que la temperatura de T3 es la más fría durante toda la corrida, pues se coloca en el punto más bajo de la gráfica desde el principio.

T1 tiene la pendiente más alta (-0.3) y una ordenada al origen de -10.6, siendo el siguiente punto más frío después de T3. T8, debido a su cercanía con T1, tiene una pendiente grande (0.23) y una ordenada al origen de -9.43.

Las pendientes similares son T2, T4, T5, T7, T9 y T10 (0.13, 0.16, 0.07, 0.06, 0.06 y 0.08 respectivamente) estos valores se atribuyen a que son los puntos más cercanos al centro, lugar donde las espreas no las alcanzan, reduciendo su temperatura con menor rapidez. Situando sus ordenadas al origen por arriba de los 0°C .

T7 tiene una pendiente de (-0.06) y la ordenada al origen más alta (6.73), manteniendo la temperatura caliente por más tiempo, convirtiéndose en el punto caliente, puesto que la temperatura baja con lentitud y se mantiene por arriba de las demás.

De este análisis podemos destacar que:

En las dos placas se observa que T1 y T3 son las más frías, debido a que al estar bajo el chorro de nitrógeno, alcanzan en menor tiempo el punto de congelación.

Las zonas que no están en contacto directo con el nitrógeno líquido, disminuyen su calor en forma gradual, debido a que tardan más tiempo en alcanzar la temperatura de congelación y convertir el agua líquida en hielo.

La zona 7 es la más caliente en ambas situaciones debido a que transfiere su calor a las zonas adyacentes y depende de la temperatura de estas últimas su tendencia, alcanzando el punto de congelación entre los 3 y 4 minutos de comenzar la congelación.

Este punto se ha tomado como referencia para la determinación de los tiempos de congelación.

En general las gráficas presentan un cambio brusco después del punto de congelación:

Evento	1. a los	2 minutos
Evento	2. a los	3 minutos
Evento	3. a los	3 minutos
Evento	4. a los	2 minutos
Evento	6.a los	8 minutos
Evento	7.a los	3.5 minutos
Evento	8.a los	5 minutos
Evento	9.a los	2.2 minutos
Evento	10. a los	4.5 minutos
Evento	11. a los	3.6 minutos
Evento	12. a los	4 minutos
Evento	13. a los	3.8 minutos
Evento	14. a los	5.7 minutos
Evento	15. a los	3.3 minutos
Evento	16. a los	1.2 minutos

Estos cambios son atribuidos a que el centro térmico alcanzó el punto inicial de congelación provocando un incremento en la cantidad de agua congelada en el producto, aumentando la transferencia de calor por conducción.

El calor a retirar después de este punto es menor debido a el calor a retirar, en las mismas condiciones, es el doble en la pre congelación (14 Kcal/Kg de 15 a -2.2 °C), que en la postcongelación (7.56 Kcal/Kg de -2.2 a -20 °C).

Las variaciones en los eventos 11, 12 y 15 (2 Kg/cm² -Sin Envase) pueden deberse a que el nitrógeno es capaz de absorber un 12% más calor que el lanzado a 5 Kg/cm² (ver figuras 24 y 25 -capítulo 1-). Pudiendo ser visto en la parte final de estas corridas, pues el calor a absorber es menor, produciendo disminución súbita de temperatura.

Un chorro prolongado de Nitrógeno a esa presión, contiene mayor cantidad de gotas de Nitrógeno líquido, el cual es capaz de absorber una mayor cantidad de calor de la placa.

Al absorber una mayor cantidad de calor y encontrarse la temperatura por debajo de los -2.2°C (la conductividad térmica del camarón es mas grande, debido al incremento de agua congelada) existe una disminución repentina de temperatura.

En el figura 48 se puede observar como los tiempos varían con la temperatura, el evento 1 es un 30 % más pequeño que el evento 9, que es su corrida contraparte, (varía sólo temperatura, las demás variables se conservan igual). Así las variaciones en tiempo entre corridas cuya única variación es el nivel de temperatura, corren del 15 al 65 %.

Esta variaciones pueden atribuirse a diferencias en el grado de enfriamiento del equipo, aún y cuando el equipo se preenfriaba unos minutos para mantener una temperatura de -10°C , al inicio de las corridas, la velocidad con que es colocado el material dentro del equipo provoca variaciones que van de 0°C a -30°C .

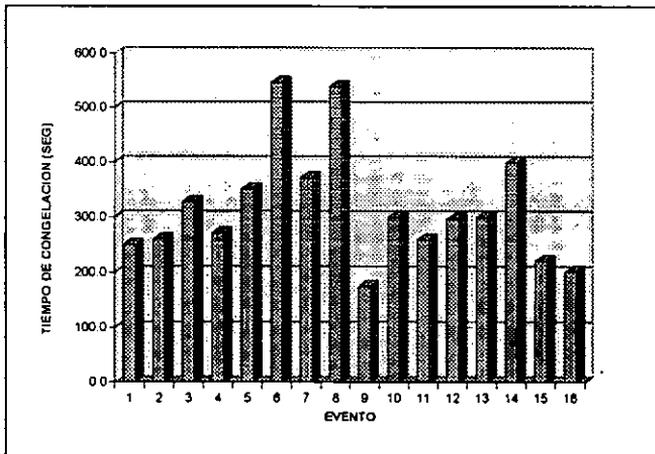


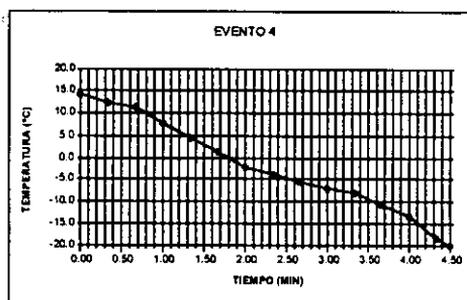
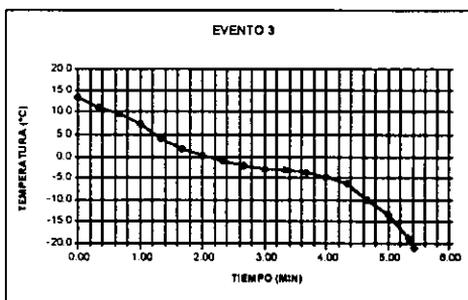
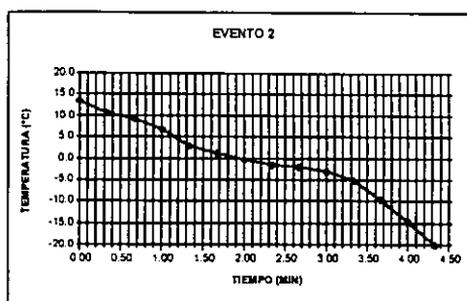
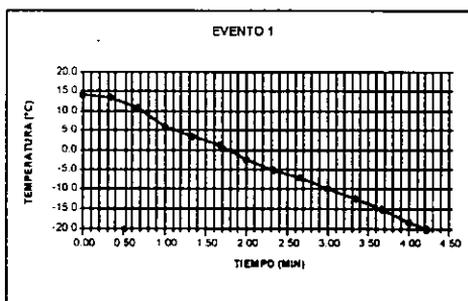
Figura 48. Tiempos de congelación por eventos.

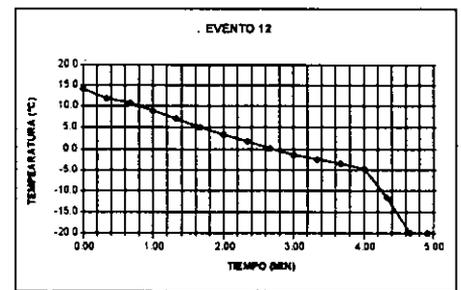
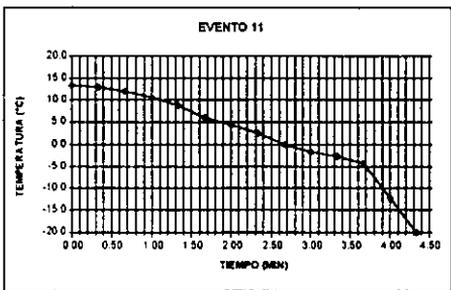
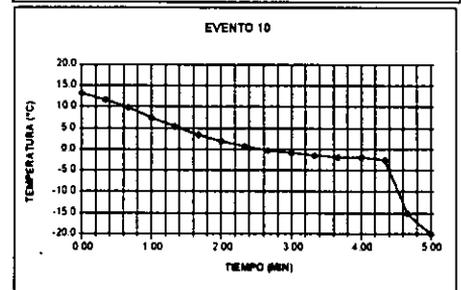
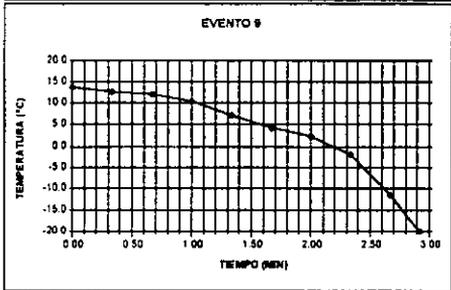
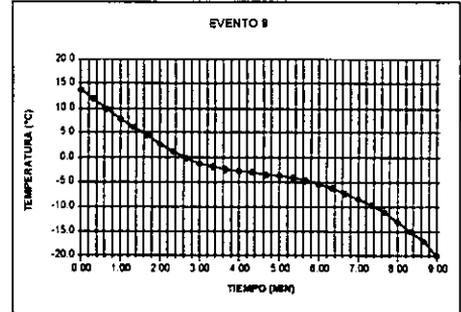
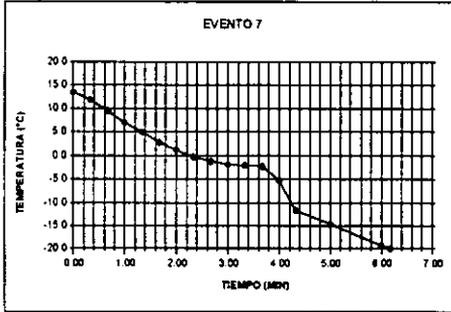
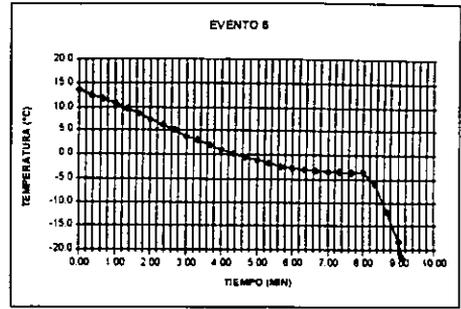
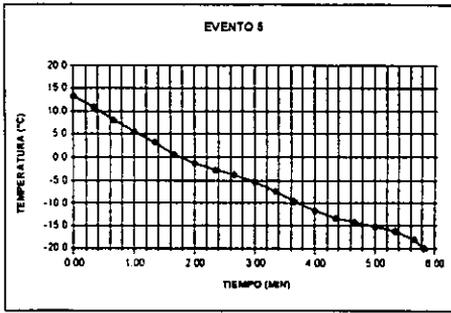
La diferencia entre niveles de temperatura es un 25 %, más rápido en los niveles 2 que en los niveles 1 (porcentaje de diferencia de los promedios de los eventos 1 a 8 y 9 a 16 -según el método Taguchi son los afines-). La corrida con tiempos más pequeños fue la corrida 9 (2.9 min.) la cual tiene temperatura de -100°C , 1 placa de espesor, con envase, acomodo $1, 2 \text{ Kg/cm}^2$ y tamaño 21-25.

El tiempo más grande corresponde a las corridas 6 y 8 (teniendo 9 y 9.11 minutos respectivamente), la primera con $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ en equipo, 2 placas de camarón, con envase, 2 acomodo y 5 Kg/cm^2 de presión, teniendo el tamaño de camarón U-15 y la segunda corresponde a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, 2 placas, sin envase, 1 acomodo y 2 Kg/cm^2 de presión teniendo tamaño de camarón U-15.

La diferencia entre las corridas 6 y 8 es de 1.2 % sugiriendo que el envase y el acomodo no influyen en los tiempos de congelación, (las demás variables se mantienen constantes).

Entre las corridas 9 (2.9 min) y las corridas 6 y 8 existe una variación promedio de 68 %, lo cual puede ser atribuido a la combinación de las variables, temperatura, talla, espesor y presión.





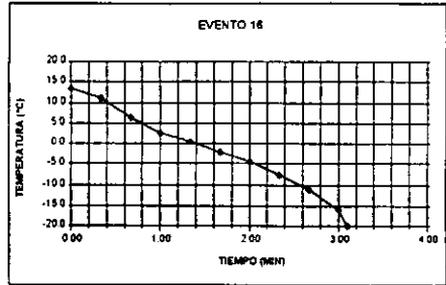
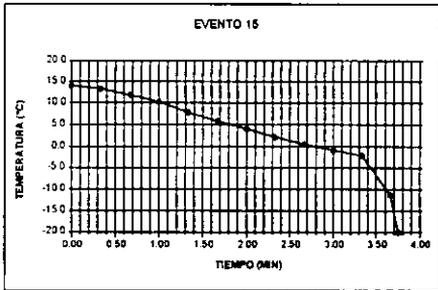
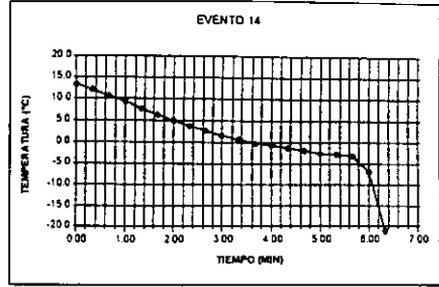
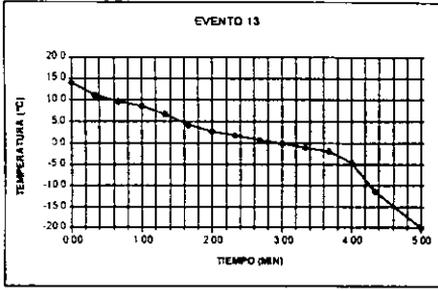


Figura 49. Gráficas de los tiempos de congelación de los 16 eventos.

3.2 ANÁLISIS DE TIEMPOS DE CONGELACIÓN

A continuación se realiza el análisis TAGUCHI de los tiempos de congelación, basándose en el tratamiento *smaller than better* (más pequeño mejor). En este estudio se calcula el efecto promedio de cada factor y la interacción entre niveles, el objetivo a perseguir es identificar los efectos más fuertes y determinar la combinación de factores e interacciones que puede producir los resultados deseados. El primer paso dentro de este método es calcular la media de cada nivel e interacción. Es recomendable que el análisis sea en dos formas: por tabulación y gráfico.

Usando el método de tabulación se determina el efecto por nivel y por factor, sobre los tiempos de congelación (S/N señal de ruido -en db-).

Factor a Estudiar	Nivel 1 (db)	Nivel 2 (db)	Efecto (db)
Temperatura	-50.86	-48.32	2.54
Espesor	-48.41	-50.77	2.36
Inter. Temperatura-Espesor.	-48.71	-50.47	1.77
Envase	-49.73	-49.45	0.28
Inter. Temperatura-Envase.	-49.06	-50.12	1.05
Acomodo	-48.70	-50.48	1.78
Inter. Temperatura-Acomodo.	-50.19	-48.99	1.20
Presión	-48.75	-50.43	1.67
Inter. Temperatura-Presión.	-49.70	-49.48	0.22
Talla de camarón	-49.85	-49.32	0.53
Inter. Temperatura-Talla	-50.37	-48.80	1.57
Error	-49.00	-50.18	1.18
Error	-49.85	-49.32	0.53
Error	-49.47	-49.69	0.22
Error	-49.52	-49.66	0.14

Cuadro 10. Análisis de ruido del tiempo de congelación

A la diferencia entre niveles se le denomina efecto, que representa el grado de influencia que tiene la variable sobre el fenómeno (en este caso los tiempos de congelación)

Los valores pequeños no se toman en cuenta. El separar los efectos fuertes de los débiles depende de la pendiente que adquiera la gráfica correspondiente a cada efecto, si la pendiente es cercana a 0 no se considera

importante. Siendo la S/N la pendiente de la curva los valores menores a 1 no son considerados relevantes (siguiente cuadro).

VARIABLE	EFEECTO (S/N -en decibeles-)
Envase	0.28
Talla de camarón	0.22
Error 2	0.53
Error 3	0.22
Error 4	0.14

Sin considerar estos valores y determinando el porcentaje de importancia de cada variable se calculan los porcentajes de participación.

VARIABLE	% DE PARTICIPACIÓN
Temperatura	17
Espesor	16
Interacción Temperatura- Espesor	12
Interacción Temperatura- Envase	7
Acomodo	11
Interacción Temperatura-Acomodo	8
Presión	11
Interacción Temperatura-Talla	10
Error	8

Cuadro 11. Porcentaje de importancia de cada variable de acuerdo al nivel de ruido dentro de la experimentación

El análisis de la influencia de cada variable sobre los tiempos de congelación se realiza a través de la velocidad promedio de transferencia de calor. No se explican las variaciones por Ley de Fourier debido a que la placa de camarón es heterogénea, y su conductividad térmica varía de punto a punto, cambiando de estado pasando el agua líquida a congelada durante el enfriamiento. Kakaç (1993).

Para calcular el efecto de las variables sobre los tiempos de congelación, se partió de los flujos de calor promedio esto es el cociente del calor cedido por la placa de camarón entre los tiempos de enfriamiento de cada corrida, haciendo la consideración de que el calor que se retira de la placa es el mismo

para todos los eventos duplicándose en aquellos donde las placas de camarón son dobles.

El calor de la placa sencilla (1 kilo) puede ser determinado por un balance de Calor. Utilizando las fórmulas de Charm, para el cálculo del C_p y λ (considerando un 78.2 % de Humedad (Marlet, 1993)).

Sabiendo la masa de la placa, el punto inicial de congelación de camarón (-2.2°C (Mallet, 1993)) y las temperatura de inicio (15° C) y final (-20 °C) de la congelación tenemos:

C_p antes del punto de congelación: 0.82 Kcal/Kg°C

Calor latente de solidificación λ : 62.56 Kcal/Kg

C_p después del punto de congelación: 0.43 Kcal/Kg°C

Haciendo el cálculo del calor a retirar de la placa de camarón de 15 a -20 °C:

Calor antes del punto de congelación (Q_{ap}): 14 Kcal (de 15 °C a -2.2 °C)

Calor latente de solidificación (λ): 62.56 Kcal

Calor después del punto de congelación (Q_{dp}): 7.56 Kcal (de -2.2 a -20 °C)

Calor total (Q_t): 84.12 Kcal

Partiendo de que en un espesor de placa doble se retira el doble de calor, se calcula el flujo de calor promedio.

Así:

Evento	Velocidad de flujo de calor (Kcal/s)
1.	0.33
2.	0.32
3.	0.24
4.	0.29
5.	0.48
6.	0.29
7.	0.45
8.	0.31
9.	0.48
10.	0.28
11.	0.32
12.	0.28
13.	0.56
14.	0.42
15.	0.74
16.	0.90

Para determinar la influencia de cada variable sobre el flujo de calor de la placa se promediaron los eventos por niveles según el método Taguchi (niveles 1 y 2 - ver capítulo 2 "cuadro de eventos"-) y se determinó su porcentaje de diferencia entre los dos niveles.

p.e. para temperatura:

$$\text{Eventos nivel 1: } \frac{\Sigma \text{tiempos de congelación nivel 1}}{8}$$

$$\text{Eventos nivel 2: } \frac{\Sigma \text{tiempos de congelación nivel 2}}{8}$$

Al realizar el cálculo del porcentaje de importancia se observó que el nivel 1 tiene un promedio de flujo de calor de 0.34 Kcal/s, mientras que el promedio del nivel 2 es de 0.50 Kcal/s, teniendo, una diferencia del 32 % entre estos dos niveles (-100 °C y -80°C). Esto es, al variar la temperatura interior del equipo de -80 °C a -100°C, el flujo de calor de la placa al nitrógeno (ya sea gas o líquido) se incrementa en un 32 %. Resultando el nivel 2 el recomendado para reducir los tiempos de congelación.

En el caso del espesor los promedios de los niveles son: para el 1, 0.48 Kcal/s y para el 2, 0.36 Kcal/s, lo cual significa una influencia del 30 %, y la placa sencilla se enfría con un 30 % de más rapidez que la placa doble para el caso del camarón congelado criogénicamente. Siendo recomendado un espesor de camarón sencillo.

El acomodo 1 se enfría un 18 % más rápido que el acomodo 2 teniendo el primero una velocidad de flujo de calor de 0.48 Kcal/s en promedio, mientras que el acomodo 2 conserva una velocidad de 0.39 Kcal/s. Esta diferencia de velocidades se atribuye a la diferencia en las áreas de transferencia de calor

La diferencia de áreas se puede observar en el siguiente cálculo (para 21-25): Considerando una placa de 30 cm. por lado con 1.5 cm de grosor, y tres camarones a lo largo y 8 camarones a lo ancho, calculando el área de contacto entre camarones tenemos.

Arreglo 1

$$\text{Num. de } \frac{\text{espacios}}{\text{placa}} = (7 \frac{\text{espacios}}{\text{línea}}) (3 \frac{\text{líneas}}{\text{placa}}) = 21 \frac{\text{espacios}}{\text{placa}}$$

$$\frac{\text{Area de contacto}}{\text{espacio}} = 10 \text{ cm (largo)} * 1.5 \text{ cm (ancho)} = 15 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area total} = \frac{\text{Area de contacto}}{\text{espacio}} * \text{Núm. espacios} = 15 \text{ cm}^2 * 21 = 315 \text{ cm}^2$$

Arreglo 2

En este arreglo 10 cm. de cada línea de la placa no se encuentran en contacto con otro camarón, así calculando el área sin contacto:

$$\frac{\text{Area perdida}}{\text{línea}} = 5 \text{ cm.} * 1.5 \text{ cm.} = 15 \text{ cm}^2$$

$$\text{Area total perdida} = \frac{7 \text{ espacios}}{\text{línea}} * 15 \text{ cm}^2 = 105 \text{ cm}^2$$

$$\% \text{ Area perdida} = \frac{(315 \text{ cm}^2 - 105 \text{ cm}^2)}{315 \text{ cm}^2} * 100 = 33 \%$$

Este 33 % de área en la cual no existe contacto entre camarones evita el flujo de calor por conducción cuando comienza la congelación del agua, retardando en un 18 % el flujo de calor en la placa.

La presión influye, según los valores del análisis de Taguchi, en un 11 % sobre la congelación. Esta influencia se puede explicar a través del calor capaz de retirar el nitrógeno a diferentes presiones, calculando las ganancias de calor por flasheo y por la misma presión.

La cantidad de calor que es capaz de retirar el nitrógeno a 2 Kg/cm² es de 91 Kcal/kg de nitrógeno. mientras el calor capaz de retirar el nitrógeno 80 Kcal/kg de nitrógeno. Esta ganancia de calor se refleja en la elevación de tiempo, puesto que el nitrógeno a diferentes condiciones absorberá una cantidad de calor variable. Así la diferencia de calores entre estas dos presiones es de 11 Kcal/Kg, lo cual representa un 12 % en diferencia (ver figura 21 y 22 -capítulo 1-).

La siguiente figura muestra el comportamiento de las variables más importantes: temperatura, espesor, acomodo y presión.

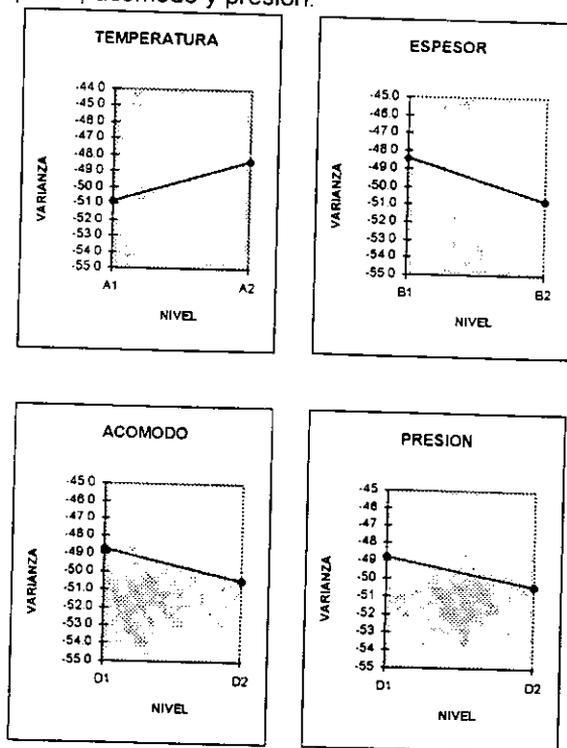


Figura 49. Estudio de los niveles de las variables sobre los tiempos de congelación.

El estudio "Smaller than Better" menciona que para encontrar los niveles óptimos se deben escoger los valores más pequeños de varianza de los factores, partiendo de la figura anterior se pueden determinar estos niveles, los cuales son los más cercanos al cero. Para este caso los niveles recomendados para el tiempo de congelación son: 2° Nivel de temperatura (-100°C), 1 Nivel de Espesor (1 placa), 1° Nivel de acomodo, y 1 Nivel de presión (2 Kg/cm²).

Las interacciones entre variables nos proporcionan más información acerca de los niveles recomendados. Los siguientes gráficos muestran las interacciones entre niveles, cuando las líneas en las gráficas cruzan significa que existe una interacción fuerte.

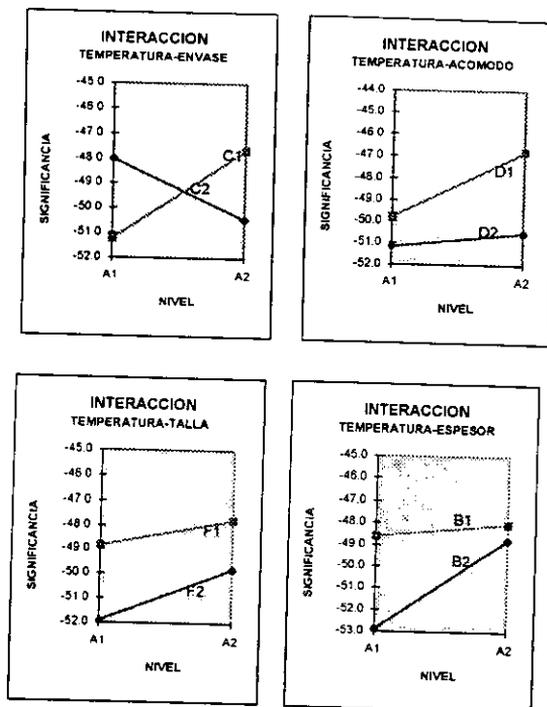


Figura 50. Interacciones de las variables en los tiempos congelación criogénica de camarón.

Del estudio de las interacciones destaca una interacción fuerte entre la temperatura y el envase resultando la 2ª Temperatura 2-Con envase el nivel sugeridos. Esto puede deberse a que el envase es de poliestireno, tal que permite la transferencia de calor con facilidad. El siguiente cálculo nos muestra este hecho

Teniendo una K para poliuretano de 0.017 Kcal/mhr°C, temperaturas del equipo de -100 °C y -80 °C, temperatura del producto de 15 °C y un espesor de 0.002 se tiene:

\underline{Q} @ -100°C

A

$$\underline{Q} = \frac{(4.72 \times 10^{-6} \text{ Kcal/ms}^\circ\text{C})(15^\circ\text{C}-100^\circ\text{C})}{0.002 \text{ m}} = 0.271 \text{ Kcal/s}$$

A

$\frac{Q}{A}$ @ -80°C

$$\frac{Q}{A} = \frac{(4.72 \times 10^{-6} \text{ Kcal/ms}^2\text{C})(15^\circ\text{C}-80^\circ\text{C})}{0.002 \text{ m}} = 0.224 \text{ Kcal/s}$$

% de diferencia en flujos:
de calor para ambas
temperaturas

$$\frac{(0.271 \text{ Kcal/s} - 0.224 \text{ Kcal/s})}{0.271 \text{ Kcal/s}} * 100 = 17\%$$

Existe una diferencia del 17 % en el flujo de calor si se varía la temperatura del equipo de -80 °C a -100 °C así la principal influencia es de la temperatura puesto que si comparamos este valor con el flujo de calor de los eventos, se observa que permite en el caso del evento 3 la transferencia de calor en casi un 100 %. Ahora sabiendo que el envase cubre aproximadamente la mitad del producto (y por el lado gaseoso), Se puede determinar que el flujo de calor no se ve limitado por el empleo del envase, siendo afectado solamente por la variación en temperatura.

Las demás interacciones no resultan de importancia por lo que los niveles recomendados son los determinados individualmente. Así se puede decir que las condiciones sugeridas para obtener los tiempos más cortos en la congelación criogénica de camarón contemplando las variables manejadas en la experimentación, son para un tiempo aproximado de 180 seg:

Variable	Nivel Sugerido
Temperatura	2 (-100°C)
Espesor	1 (1 placa)
Envase	1 (Con envase)
Acomodo	1 (1er acomodo)
Presión	1 (2 kg/cm ²)
Talla	<i>El nivel de significancia no es importante</i>

Una vez que los efectos más fuertes y niveles deseados han sido encontrados, se realiza el cálculo de resultados previsibles basándose en el impacto de cada variable. Después se realiza una corrida confirmatoria usando los niveles por factor óptimos, identificados en el análisis. El resultado de la corrida confirmatoria es comparado contra los resultados predichos para verificar el análisis y confirmar el supuesto hecho en el análisis experimental.

Se establece la ecuación de predicción de tiempos de congelación (Stuart, 1993)

$$\mu_t = -2T + B_1 + D_1 + E_1 + A_2 C_1 - C_1$$

Sustituyendo para obtener el valor teórico de ruido:

$$\mu_t = -(2 \cdot -49.58) + (-48.4) + (-48.77) + (-48.75) + (-48.33) - (-49.72)$$

$$\mu_t = -45.37 \text{ db}$$

Teniendo los valores de la corrida a las condiciones recomendadas:

2a Temperatura, 1er Espesor, Con envase, 2o Acomodo, 1er. presión, 1 Talla se realiza la corrida comprobatoria, con los siguientes resultados:

Evento 1 (segundos)	Evento 2 (segundos)	Evento 3 (segundos)	Evento 4 (segundos)
170	178	173	172

Y calculando la señal de ruido experimental tenemos:

$$\mu_e = -44.77 \text{ db}$$

Si el valor de ruido obtenido teóricamente es igual o ligeramente mayor que el valor obtenido experimentalmente, los niveles escogidos son los correctos, ahora, comparando el valor teórico y el obtenido experimentalmente tenemos que:

$$\mu_e \cong \mu_t$$

De esta manera se confirma que los niveles recomendados son los mejores para reducir los tiempos de congelación del camarón en forma criogénica. Ahora se proseguirá con el análisis de deshidratación.

3.3 ANÁLISIS DE DESHIDRATACION

Como medida de comparación para los valores de deshidratación (anexo 1) encontrados en la experimentación se utilizan los porcentajes dictados por la Norma de OCEAN GARDEN, puesto que esta institución establece los parámetros de calidad de camarón de exportación.

Para camarón congelado IQF, OCEAN GARDEN permite como máximo un nivel de deshidratación del 1% para camarón de máxima calidad (ver capítulo 1 -Normas de calidad de camarón congelado-).

Como se observa en los resultados, ninguna combinación de factores sobrepasa este nivel, pues corren de 0.16% (corrida 14) a un 0.97 % (corrida 2).

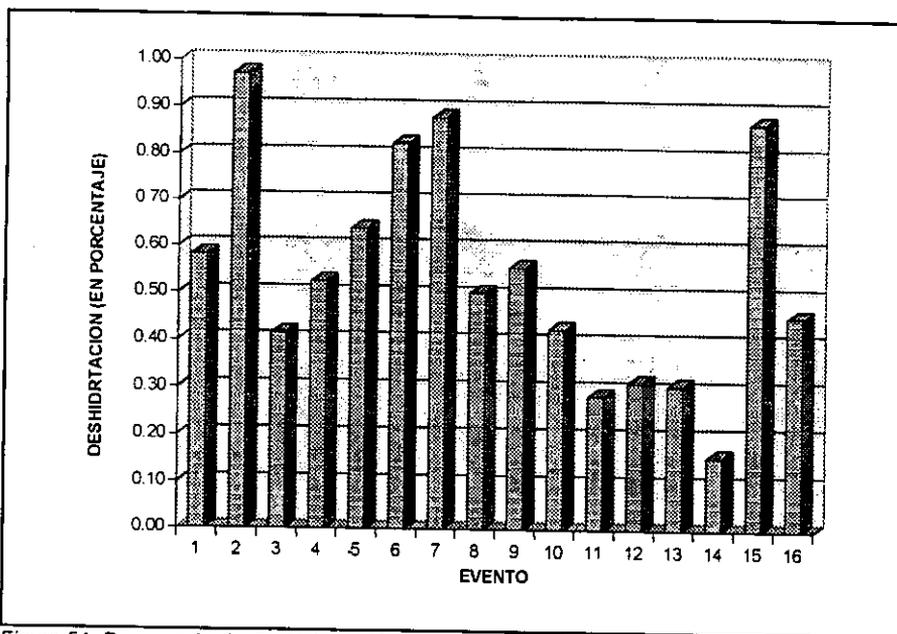


Figura 51. Porcentaje de deshidratación por eventos.

Esto quiere decir que cualquier posible combinación entre variables nos producirá un camarón congelado con niveles de deshidratación menores a los permitidos por OCEAN GARDEN.

Partiendo de esto se realiza anexo un estudio de las variables a través del método Taguchi, con el fin de obtener los niveles con los cuales el nivel de deshidratación es mínima. A continuación se muestra el cuadro con las señales de ruido resultantes de cada nivel e interacción:

Factor a Estudiar	Nivel 1 (db)	Nivel 2 (db)	Efecto (db)
Temperatura	-16.16	-11.56	4.61
Espesor	-13.58	-14.14	0.56
Inter. Temperatura-Espesor.	-13.45	-14.26	0.81
Envase	-13.86	-13.86	0.01
Inter. Temperatura-Envase.	-15.08	-12.64	2.44
Acomodo	-11.77	-15.94	4.17
Inter. Temperatura-Acomodo.	-12.61	-15.10	2.49

<i>Presión</i>	-14.43	-13.29	1.13
<i>Inter. Temperatura-Presión.</i>	-12.81	-14.90	2.09
<i>Talla de camarón</i>	-12.67	-15.05	2.39
<i>Inter. Temperatura-Talla</i>	-13.91	-13.81	0.11
<i>Error</i>	-13.47	-14.24	0.77
<i>Error</i>	-13.06	-14.66	1.60
<i>Error</i>	-13.80	-13.38	0.42
<i>Error</i>	-13.96	-13.76	0.20

Cuadro 12. Análisis de ruido de la deshidratación.

Usando el método tabular de Taguchi mencionado en el análisis de temperatura, se procede a eliminar los factores no significativos. Esto es que no poseen un efecto sobre la deshidratación.

Las pendientes menores a 1 señalan los efectos débiles:

VARIABLE	EFEECTO (S/N -en decibeles-)
Espesor	0.56
Inter. Temp-Espesor	0.81
Envase	0.01
Inter. Temp-Talla	0.11
Error 1	0.77
Error 3	0.42
Error 4	0.20

Además de las variables que afectan a la deshidratación: Temperatura (4.6 db), el acomodo (2.39 db), la talla (2.39 db) y la presión (1.13 db), figura 40., las combinaciones Temperatura-Envase (2.44 db), Temperatura-Acomodo (2.49 db) y Temperatura-Presión (2.09 db) serán estudiadas para determinar el efecto sobre la deshidratación.

Así se tiene un porcentaje de participación como sigue:

VARIABLE	% DE PARTICIPACIÓN
Temperatura	26
Talla	14
Acomodo	14
Interacción Temperatura-Acomodo	14
Presión	6
Interacción Temperatura-envase	14
Interacción Temperatura-presion	12

Si determinamos el promedio de los eventos del Nivel 1 y del nivel 2 de temperatura observaremos una diferencia del 42%, pues el primero tiene un 0.66% de deshidratación, mientras el segundo un 0.38%

Esta diferencia se atribuye al tiempo de exposición del camarón a la congelación, pues los tiempos del nivel 1 de temperatura, fueron un 35 % mayores que el nivel 2.

La pérdida de peso durante el proceso de congelación es en general menor cuanto más rápido es el proceso de congelación (un rápido descenso de la temperatura superficial del artículo a congelar provoca una disminución considerable de las tasas de evaporación).

En el curso de la congelación de alimentos sin envasar, son fenómenos inevitables la evaporación superficial del agua contenida en el artículo a congelar. Las pérdidas de humedad durante la congelación llegan a oscilar, dependiendo de la temperatura, velocidad de congelación, método de congelación, así como también de las propiedades peculiares de cada artículo a congelar. (Gruda, 1963)

Al igual que en el análisis de Taguchi la temperatura resultó la variable más importante debido a su influencia sobre el tiempo de exposición, así reduciendo la temperatura del equipo, se reduce el tiempo de congelación y la deshidratación.

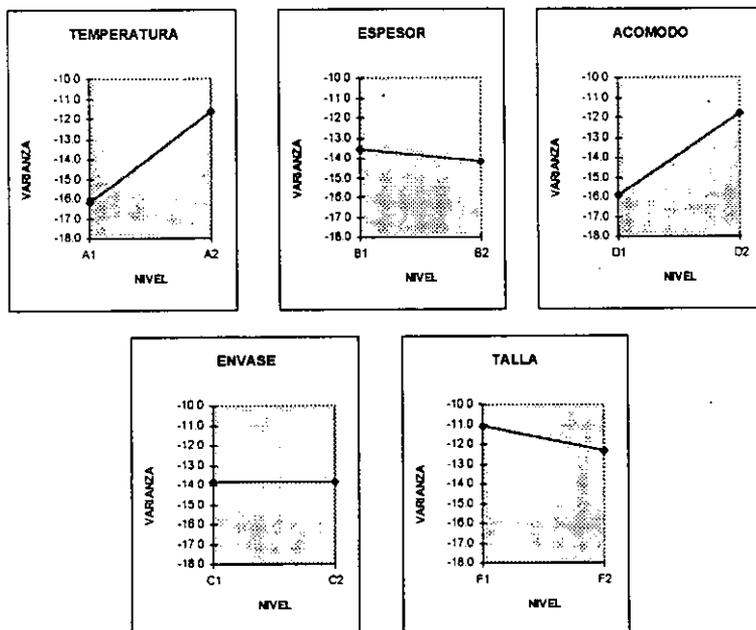


Figura 52. Estudio de los niveles sobre la deshidratación del camarón

El promedio de los acomodos 1 (0.44%) es un 33% menor en deshidratación que el promedio de los acomodos 2 (0.66%), esto se atribuye a dos efectos: el primero es que el acomodo 1 se enfría un 18 % más rápido que el acomodo 2 (ver análisis de tiempos de congelación), esta reducción en tiempos de exposición reduce la deshidratación.

La influencia de la presión se debe al igual que la temperatura, a la disminución de los tiempos de congelación evitando la exposición de la superficie húmeda (la cual es congelado en un máximo de 1.5 min. de iniciado el enfriamiento). La presión de 2 Kg/cm² lanza una mayor cantidad de nitrógeno líquido, congelando la superficie casi al instante (ver figuras 35 y 36 puntos 1 y 3) disminuyendo las posibilidades de que la superficie se deshidrate. El efecto de la presión sobre los tiempos de congelación es de un 8 %, pues el mientras el promedio de los niveles 1 de presión tiene un 0.57% de deshidratación, el promedio de los niveles 2 tiene un 0.62 %.

La talla recomendada es la 21-25, esto al igual que el espesor es recomendado por tener menor área de contacto con el fluido (nitrógeno líquido-gas), el barrido se realiza en menor magnitud, disminuyendo la deshidratación. La talla menor reduce el área de exposición (o barrido) siendo el promedio de los niveles 1 de 0.43 %, mientras los niveles 2 tienen una pérdida de peso de 0.66%, significando una variación del 26%

Para determinar la influencia de las interacciones se han creado las gráficas: Temperatura-Acomodo, Temperatura-Presión, y Temperatura-Envase, que son las interacciones más fuertes.

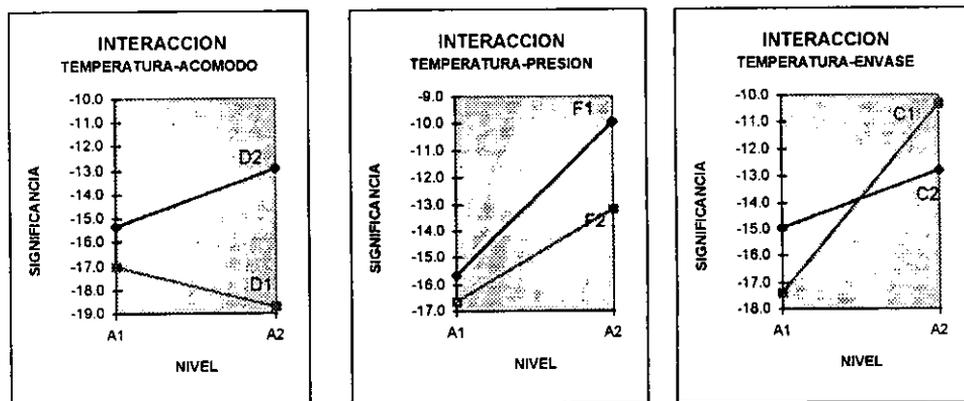


Figura 53. Interacciones de las variables en la deshidratación del camaron congelado.

Las interacciones que cruzan las líneas en el método gráfico son las que tienen mayor influencia, viendo la figura 48 se observa una interacción temperatura-envase fuerte (para la elaboración de estas gráficas ver "A hand on approach" Stuart, 1993)

La intersección temperatura envase es la más fuerte debido a que influye en un 17 % en el flujo de calor a través de la charola y por lo tanto en los tiempos de congelación. Además la charola cubre en casi un 50% el área de contacto del nitrógeno con el producto, reduciendo el porcentaje de deshidratación.

La influencia del envase se observa en la relación con temperatura siendo el nivel recomendado la 2° Temperatura (-100°C)-1° Envase (Con envase). Así al disminuir la temperatura se reducen los tiempos de congelación, evitando la evaporación superficial de la placa húmeda por el barrido del aire alrededor. además el envase reduce la superficie de contacto de la placa con el fluido de enfriamiento, así al reducirse el área expuesta se reduce el nivel de deshidratación.

Teniendo esto resultados se establecen los niveles para obtener los porcentajes de deshidratación más bajos en la congelación criogénica de camarón contemplando las variables manejadas en la experimentación, son para niveles de deshidratación de 0.25 %:

Variable	Nivel Sugerido
Temperatura	2o (-100°C)
Espesor	<i>El nivel de significancia no es importante</i>
Envase	1 (Con envase)
Acomodo	1er (1er. acomodo)
Presión	1 (2 Kg/cm ²)
Talla	1 (21-25)

Cuando se han establecido los efectos y niveles recomendados, se calcula el resultado previsible, basados en la influencia de cada variable, se realiza la corrida confirmatoria utilizando los niveles recomendados de cada factor. El resultado es comparado con los resultados anteriores, verificando el análisis y confirmado los suéstos.

Estableciendo (según Taguchi) la ecuación de predicción de nivel de deshidratación:

$$\mu_t = -2T + D_2 + F_1 + A_2 C_1 - C_1 + E_1$$

Sustituyendo:

$$\mu_t = -(2 \cdot -13.85) + (-11.77) + (-12.66) + (-10.34) - (-13.86) + (-14.42)$$

$$\mu_t = -7.63 \text{ db}$$

Teniendo los valores de la corrida a las condiciones recomendadas:

2a Temperatura, 1er Espesor, Con envase, 1er Acomodo, 1er. presión, 1 Talla se realiza la corrida comprobatoria:

Evento 1	Evento 2	Evento 3	Evento 4
<i>En porcentaje</i>	<i>En porcentaje</i>	<i>En porcentaje</i>	<i>En porcentaje</i>
0.20	0.19	0.25	0.27

Y calculando la señal de ruido tenemos(Stuart, 1993)

$$\mu_e = -7.2 \text{ db}$$

Así tenemos que $\mu_e \cong \mu_t$

El resultado de la señal de ruido cercano al valor recomendado confirma que los niveles sugeridos son los correctos para llevar a cabo la congelación de camarón, evitando al máximo la deshidratación.

3.4 ANÁLISIS DE PORCENTAJE DE CAMARON QUEBRADO

Para realizar la comparación de los porcentajes de camarón quebrado (anexo 1) se usará una vez más los valores establecidos por OCEAN GARDEN, ya que es la institución que dicta los rasgos de calidad del camarón para exportación.

OCEAN GARDEN permite un máximo de 1% como camarón quebrado para ser camarón de excelente calidad, se puede ver que los eventos 7 y 8 lo rebasan, por lo cual es necesario realizar un estudio para minimizar el camarón quebrado.

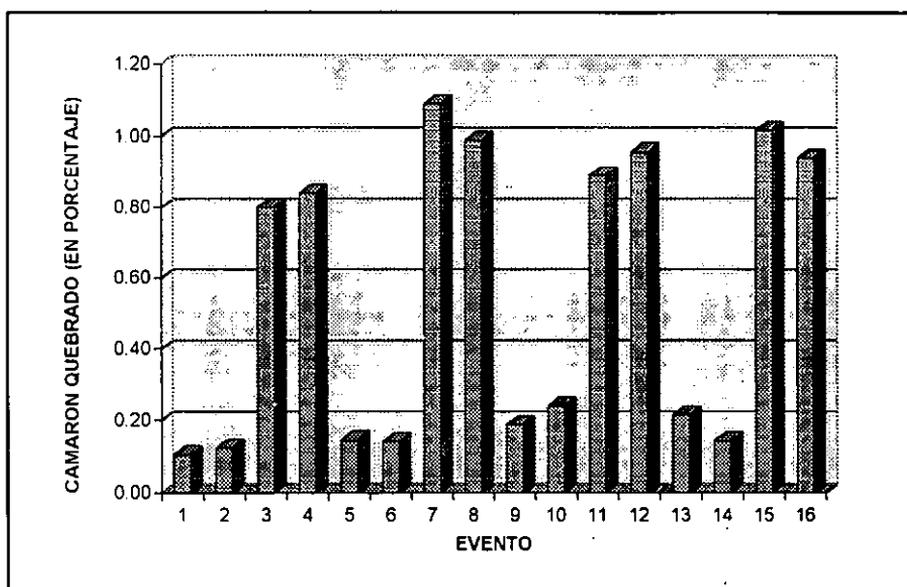


Figura 54. Porcentaje de camarón quebrado por eventos .

Se realizó un estudio de ruido (según Taguchi), similar a los otros con el fin de optimizar el proceso, a continuación se presenta el análisis:

Factor a Estudiar	Nivel 1 (db)	Nivel 2 (db)	Efecto (db)
Temperatura	-10.75	-12.66	1.91
Espesor	-11.34	-12.06	0.72
Inter. Temperatura-Espesor.	-11.05	-12.35	1.30
Envase	-3.97	-19.44	15.47

<i>Inter. Temperatura-Envase.</i>	-10.87	-12.53	1.66
<i>Acomodo</i>	-11.97	-11.43	0.54
<i>Inter. Temperatura-Acomodo.</i>	-11.44	-11.96	0.52
<i>Presión</i>	-11.74	-11.67	0.07
<i>Inter. Temperatura-Presión.</i>	-11.56	-11.84	0.28
<i>Talla de camarón</i>	-11.09	-12.31	1.22
<i>Inter. Temperatura-Talla</i>	-11.96	-11.44	0.52
<i>Error</i>	-11.68	-11.72	0.05
<i>Error</i>	-11.51	-11.89	0.38
<i>Error</i>	-13.51	-11.99	1.52
<i>Error</i>	-11.95	-11.45	0.50

Cuadro 13. Análisis de ruido del porcentaje de camarón quebrado

Partiendo del hecho de que cualquier valor menor a 0 no es importante los factores e interacciones que restan para hacer el análisis son: Temperatura, Envase, Interacción Temperatura-Espesor e Interacción Temperatura-Envase con el siguiente porcentaje de influencia:

<i>Variable</i>	<i>Porcentaje de participación</i>
Temperatura	8 %
Interacción Temp-Envase	6.3 %
Interacción Temp-Espesor	8 %
Envase	75 %

Los niveles de importancia significativos son: la Temperatura y el Envase, resultando el envase con un mayor nivel de significancia. Para determinar los niveles recomendados se realizaron las siguientes gráficas.

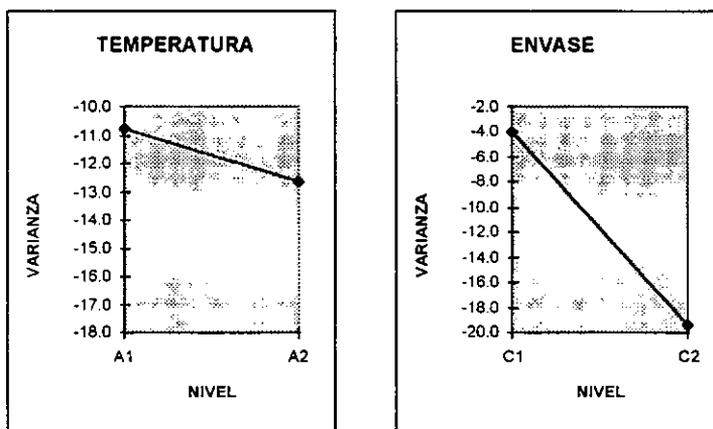


Figura 55. Grado de influencia de las variables sobre el quiebre del camarón congelado

La temperatura de -100°C genera mayores porcentajes de camarón quebrado, esto puede deberse a que la superficie del camarón y sus apéndices (patas, antenas) se fragilizan a menor temperatura, así la turbulencia de la corriente de aire provoca el rompimiento de estas partes tan sensibles, teniendo un porcentaje de camarón roto del 0.53.7 en el nivel 1 y un 0.57% en el nivel 2 teniendo una diferencia del 6 %.

Los niveles recomendados son 1° Temperatura (-80°C) y 1 Envase (Con envase). Existe una interacción fuerte entre la temperatura de y el envase resultando la 2° Temperatura-Con envase, los niveles recomendados. A pesar de que la temperatura es importante en el proceso para evitar el quiebre, no resulta tan significativo su valor como el envase. (Figura 43)

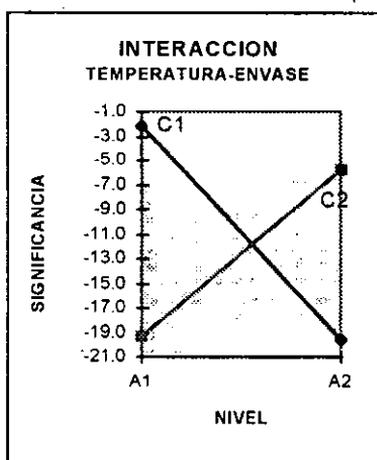


Figura 56. Interacciones de las variables en el quiebre del camarón congelado

Una vez definidos los factores y niveles recomendados se realiza el cálculo de resultados previsible teniendo como base la influencia de cada variable, después se realiza la corrida confirmatoria utilizando estos valores. El resultado es comparado con los resultados calculados, verificando el análisis

Se establece la ecuación de predicción para el porcentaje de camarón quebrado:

$$\mu_t = -T + A_1 C_1 + C_1$$

Sustituyendo:

$$\mu_t = -(2 \cdot -13.85) + (-11.77) + (-12.66) + (-10.34) - (-13.86) + (-14.42)$$

$\mu_t = -7.63$ db

Teniendo los valores de la corrida a las condiciones recomendadas:

1er. Temperatura, Con envase:

Al realizar las corridas confirmatorias se observa que cualquier evento con envase es satisfactorio:

<i>Evento</i>	<i>Señal de ruido (db)</i>
1	0.47
2	1.90
5	3.25
6	3.11
9	5.51
10	7.64
13	6.69
15	3.18

Por lo tanto: $\mu_e \cong \mu_t$

Esto significa que teniendo el envase en la congelación (sin importar otros factores) el nivel de camarón quebrado se reduce a niveles por debajo de los establecidos por OCEAN GARDEN.

Resultado:

Teniendo en cuenta los aspectos de tiempo de congelación, deshidratación y camarón quebrado se pueden establecer las condiciones en las cuales se tenga el menor valor para los tres:

Factor	Para minimizar tiempos de congelación	Para minimizar deshidratación	Para minimizar porcentaje de camarón quebrado
Temperatura	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 2</i>	<i>Nivel 1</i>
Espesor	<i>Nivel 1</i>	<i>No sugerido</i>	<i>No sugerido</i>
Envase	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 1</i>
Acomodo	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 1</i>	<i>No sugerido</i>
Presión	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 1</i>	<i>No sugerido</i>
Talla	<i>Nivel 1</i>	<i>Nivel 1</i>	<i>No sugerido</i>

Cuadro 14. Resumen de las condiciones recomendadas por el análisis de varianza (Taguchi) en camarón congelado criogénicamente

La temperatura 2 es recomendada para minimizar los tiempos de congelación y deshidratación, pero no es recomendado para minimizar el

porcentaje de camarón quebrado. Se escogió el nivel 2 porque la temperatura no ejerce tanta influencia como lo hace el envase sobre el porcentaje de camarón quebrado (8% comparado con el 75 % del envase) y sin embargo si influye positivamente en los tiempos de congelación y la deshidratación.

El espesor sugerido es el nivel 1 para minimizar tiempos de congelación, mientras la deshidratación y el porcentaje de camarón quebrado no es sugerido. Para envase el nivel 1 debido a que minimiza los niveles de camarón roto. El acomodo influye en los tiempos y los niveles de deshidratación hasta en un 16 % siendo recomendado el nivel 1.

Por último la presión de 2 Kg/cm² es recomendada por que reduce los tiempos de congelación así como los niveles de deshidratación no teniendo influencia sobre el porcentaje de camarón quebrado. En lo que respecta a la talla el nivel de deshidratación con nivel 1 es el más recomendado .

Por lo tanto las mejores condiciones para la congelación criogénica quedan como sigue:

<i>Factor</i>	<i>Nivel</i>	<i>Condición</i>
Temperatura	2	-100°C
Espesor	1	1 placa
Envase	1	C/envase
Acomodo	1	Acomodo 1
Presión	1	2 Kg/cm ²
Talla	1	21-25

Cuadro 15. *Condiciones recomendadas para la congelación criogénica de camarón*

Con estos niveles ya delimitados podemos obtener tiempos de congelación de 180 seg, como máximo, además de porcentajes de deshidratación y de camarón quebrado de alrededor del 0.25 %.

Así el uso de la Ingeniería de Calidad nos auxilió en el optimización de los parámetros de proceso. Haciendo la variación y combinación de los niveles de las condiciones de proceso, pudimos optimizarlo y así obtener un producto con mejores características y reducir tiempos de proceso.

CONCLUSIONES

Centro térmico.

- La localización del centro térmico dentro de la placa depende de la forma en la cual el Nitrógeno se distribuya sobre esta, siendo las zonas en contacto con el Nitrógeno líquido las más frías y las zonas en contacto con el gas Nitrógeno las más calientes.
- Las variaciones en las historias térmicas pueden ser atribuidas a la intensidad con la cual el equipo esprea nitrógeno líquido sobre el camarón produciendo enfriamientos bruscos y cambios en las historias térmicas de las diferentes zonas. La cercanía de el producto a las espreas produce variaciones aún mayores, debido a la mayor cantidad de Nitrógeno líquido que llega a la placa de camarón.
- De la experimentación resultó que el centro térmico se encuentra en la parte central de la placa, situándose en la parte posterior del lugar donde se encontraban las espreas.

Tiempo de congelación.

- El tiempo de congelación se ve determinado por la temperatura, el espesor, el acomodo y la presión no resultando significativos el uso de envase y la talla, si esta se encuentra entre la U-15 y 21-25 del camarón crudo y entero con cabeza.
- La temperatura es el factor con mayor influencia en la congelación de camarón tal y como se definió en el desarrollo metodológico, resultando de alrededor del 17 %. Esta influencia es atribuida a que una diferencia mayor de temperaturas se incrementa el flujo de calor.
- El espesor es el segundo factor con mayor influencia (16 %) debido a que el flujo de calor es un 30 % menor en el espesor 2.
- El acomodo afecta en un 11% debido a que en el 1er. acomodo la transferencia de calor que prevalece es la conducción puesto que existe una mejor unión entre las piezas de camarón
- La presión afecta debido a que a menor presión existe una mayor cantidad de Nitrógeno líquido, el cual es capaz de absorber más calor que el nitrógeno gaseoso.

Así a temperaturas bajas, espesores menores, acomodados en los cuales la superficie de contacto sea mayor y a presiones bajas de suministro de Nitrógeno se obtienen los mejores tiempos de congelación (de hasta 180 seg).

Deshidratación.

- La temperatura afecta en un 26 % debido a que a menor temperatura los tiempos de congelación son más cortos, reduciéndose la exposición del producto a la acción de barrido del fluido congelante. Además el Nitrógeno congela la superficie de la placa evitando las pérdidas por evaporación.
- El acomodo afecta en un 14 % pues al tener menor superficie de contacto de la placa con el nitrógeno se evita la deshidratación por la evaporación del agua del producto.
- La acción de la presión es de un 6 % puede ser debido a que a menor presión el producto se enfría más rápido, disminuyendo la exposición del camarón al barrido del fluido y la evaporación del agua de la placa.
- La talla afecta en un 14 % debido a que su diferencia provoca una mayor área de contacto con el fluido y una mayor deshidratación.
- El envase tiene una gran interacción con la temperatura y su influencia es de un 14 % lo cual puede ser debido a que evita el contacto del producto con el fluido congelante disminuyendo la deshidratación.
- A temperaturas menores, acomodo con mayor superficie, presiones bajas, talla menor y envase se reducen los niveles de deshidratación hasta un 0.25%.

Porcentaje de camarón quebrado

- En el porcentaje de camarón quebrado sólo influye la presencia del envase y la temperatura, teniendo una interacción fuerte estas dos variables.
- El envase influye en un 75 % pues al tenerlo, la placa no se adhiere a la charola evitando que se dañe su estructura (caparazón, antenas y patas). Sin envase el cuerpo del camarón se adhiere debido a su superficie húmeda, complicando el proceso de separación de la charola.
- La temperatura influye en un 8 % debido a que al ser más baja los apéndices del camarón son más susceptibles de quiebra, provocando mayor ruptura con las mismas condiciones de turbulencia del equipo.

- Entre mayor sea el gradiente de temperatura menor será el tiempo de congelación y la deshidratación. Entre más grande sea el gradiente de temperatura se incrementa la fragilidad del camarón, siendo la influencia de la temperatura de 6 %, produciéndose mayor ruptura a menor temperatura.
- Una cama sencilla de camarón es la recomendada para disminuir los tiempos de congelación. Su influencia no es significativa en la deshidratación, ni en el porcentaje de camarón quebrado.
- El envase influye en un 75 % en el porcentaje de camarón quebrado. Esto es con envase el camarón sufre menor daño, que no contando con el envase.
- El acomodo influye en los tiempos de congelación y los niveles de deshidratación en un 16 % siendo el acomodo 1 el más recomendado.
- La menor presión disminuye los tiempos de congelación y la deshidratación en un 12 %, no teniendo influencia sobre el porcentaje de camarón quebrado.
- La talla 21-25 tiene tiempos de congelación más cortos que los de la U-15, pero su influencia no es significativa, ni en los tiempos de congelación, ni en la deshidratación.

Finalizando, la congelación Criogénica batch es un método de conservación por frío en los cuales se puede alcanzar tiempos de 180 seg. deshidratación del 0.25% y un nivel de camarón quebrado del 0.25%, con las siguientes condiciones de proceso

<i>Factor</i>	<i>Nivel</i>	<i>Condición</i>
<i>Temperatura</i>	2	-100°C
<i>Espesor</i>	1	1 placa
<i>Envase</i>	1	C/envase
<i>Acomodo</i>	1	Acomodo 1
<i>Presión</i>	1	2 Kg/cm ²
<i>Talla</i>	1	21-25

BIBLIOGRAFIA

1. Madrid A., Juana M. Madrid, R. Madrid. Tecnología del pescado y productos derivados . AMV Ediciones-Ed. Mundi Prensa. Madrid. 1994. pp 45, 91-102.
2. Alan J. Chapman. Heat Transfer. Ed. Macmillan Pub. Co.. New York. 3a. Edición. pp 49-50.
3. Bancomext .Banco de Datos Bancomext. Fuente Banco de México. Agosto. 1996.
4. Bancomext. Directorio de empresas exportadoras. Ed. Bancomext.1995.
5. BIOSA. Información oportuna del sector alimentario. Núm. 110.Febrero 1995.
6. BIOSA. Información oportuna del sector alimentario. Núm. 74.Febrero 1992.
7. BIOSA. Información oportuna del sector alimentario. Núm. 86.Febrero 1993.
8. BIOSA. Información oportuna del sector alimentario. Núm. 98.Febrero 1994.
9. Breyflogle III, Forrest W.. Statistical Methods for Testing Developmt & Manufacturing.Ed. A. Wiley Interscience Publication Jhon Wiley & Sons. Inc. U.S.A.. pp 81-82, 421-423, 244-249.
10. Charles E. Morris. Designing For Chilled Foods. Food Engineering. Mayo 1991. Vol. 63. No. 5. pp 77-80.
11. Charles E. Morris. Cool Profits. Food Engineering. Julio 1993. Vol. 65. No. 7. pp 65-66.
12. Charles E. Morris. Forging New Links In The Cold Chain. Julio 1991. Vol. 63. No. 5. pp 61-63.
13. Cleland D.F & Valentés. K.J.. Prediction of Freezing Time and Design Of Food Freezers en HandBook of Food Engineering Practice. 1997. pp 90.
14. Chilton. Processing & Control. LIN immersion doubles Capacity, cuts Cost for Shrimp packaged. Octubre, 1990.
15. Douglas C. Montgomery. Diseño y Análisis para Ingenieros. Grupo Editorial Iberoamericana. 199. pp 175-228.
16. FAO. Estadística de Pesca. Vol. 75. 1992. Ed. FAO.
17. Frost. Walter. Heat Transfer at Low Temperatures. Ed. Plenum Press. New York & London. 1975. pp. 75-87
18. Genichi Taguchi. Introduction to Quality Engineering. Design into Products & Processes. Ed. Asian Productivity Organization. Tokio.1989. pp 68-187.

19. Glen Stuart Peace. Taguchi Methods A hands-On-Approach. Ed. Adison Wesley Publishing Ing. 1993. pp. 95-115.
20. H. Cheung And J. H. Royal. Efficient On Site Supply Of High Volume Ultra High Purity Nitrogen. Aiche. Vol. 89. 1992. pp 71-79.
21. Kume Hitoshi. Herramientas estadísticas básicas para el mejoramiento de la Calidad. Ed. Norma. pp 40-48.
22. Lopez Capont Francisco. La Melanosis Del Camarón ¿Tendremos Que Olvidar El Bisulfito?. Alimentaria. Octubre 1990. pp 47-53.
23. Madrid, Vicente A. et al. Los gases en la alimentación. Ed. A. Madrid Vicente. 1991. pp 13-15, 48-50.
24. Mafart Pierre. Ingeniería Industrial Alimentaria. Vol. 1. Ed Acribia. Zaragoza, España. 1994. pp 153-185.
25. Mallet C.P.. Frozen Food Technology. Ed. Backlie- Academic & Profesional. 1993. pp 45-70.
26. Colegio Oficial de Ingenieros Agronomos de Murcia. Nuevo Curso de Ingeniería. Ed. A. Madrid Vicente. Madrid. 1993. pp. 25-32, 44-46, 51-59.
27. OCEAN GARDEN. Manual para el proceso de camarón congelado para exportación.
28. Geankopolis, Christie J. Procesos de Transporte y Operaciones Unitarias.. CECSA. México. 1982. pp 177-302.
29. Ruiz Durán, M. Fernanda. Recursos Pesqueros de las costas de México. Ed. Limusa. México. 1992. pp. 79-87.
30. Sanchez, M. T.. Influencia Del Proceso De Congelación Sobre La Textura Del Esparrago Blanco. Efecto Del Escaldado Y La Velocidad De La Descongelación. Alimentaria. Abril 1994. pp 7-77.
31. Fellows P. Tecnología del procesado de los alimentos. Ed. Acribia S.A. . Zaragoza, España. pp 407-410.
32. Z. Gruda, J. Postolski. Tecnología de la congelación de alimentos. Ed. Acribia. 1973. pp 59-78.
33. Zdzislaw, E. Sikorst. Tecnología de los productos del mar, Recursos, Composición Nutritiva y conservación. Cap. 5 y 7. Ed Acribia. Zaragoza. 1994. pp. 127-166.
34. Guadarrama H, José de Jesús. El Cultivo de Camarón atrae nuevas inversiones en México. Industria Alimentaria. Marzo- Abril 1994. pp 28-29.
35. Perry, H. Robert. Perry's Chemical Engineers' Handbook. Ed. Mc Graw Hill. Malasia. 1984. cap. 3-10, 254-261, 10-13.
36. L'Air Liquide. Encyclopedie des Gas. Ed. Elviesier. Netherlands. 1976. pp. 65-68.

ANEXO 1

Características Físicas.

Grado de daño por proceso.

El grado de daño por proceso se determinará según las normas de calidad para camarón IQF, de acuerdo a los estándares de la FDA. Debido a que los E.U. son los principales importadores de camarón congelado en México.

Porcentaje de deshidratación.

El porcentaje de deshidratación se evalúa en ausencia, ligera, moderada y marcada siendo esto en valores de:

DENOMINACION	VALOR
Ausencia	0 %
Ligera.	Menor al 1%.
Moderada.	Mayor de 1 y Menor de 2 %
Marcada.	Mayor del 2 %

Porcentaje de daño y ruptura

El porcentaje de daño y ruptura se evalua en menor mayor y severo siendo esto en valores de:

DENOMINACION	VALOR
Ausencia	0%
Ligera.	de 2 a 4 %.
Moderada.	de 4.1 a 10 %
Marcada.	Más de 10 %

Porcentaje de exudado.

El porcentaje de exudado se evaluará en menor mayor y severo siendo esto en valores de:

DENOMINACION	VALOR
Ausencia	0%
Ligera.	de 1 a 2 %.
Moderada.	de 2.1 a 3%
Marcada.	Más de 3 %

Los parámetros de calidad se determinan de la siguiente manera:

- Antes de comenzar la congelación se pesa la cantidad de muestra a congelar.
- Llevar a cabo el proceso de congelación.
- Pesar la muestra aún congelada.
- Descongelar la muestra encima de un tamiz inclinado.
- Esperar 1 hr. (aprox.) para descongelar.
- Pesar la muestra descongelada.
- Sacar la muestra rota y/o dañada, además de los pedazos (antenas, caparazón), que el proceso de congelación haya provocado.
- Se pesa la muestra dañada y los pedazos.

Grado de deshidratación

- Determinar el grado de deshidratación con la fórmula:

$$\%deshidratacion = \frac{PEC - PDC}{100}$$

donde:

PEC: es el peso antes de la congelación.

PDC: es el peso después de la congelación.

Porcentaje de daño y ruptura.

- Determinar el porcentaje de daño y ruptura con la fórmula:

$$\%daño = \frac{PDC - Pmsd}{100}$$

donde:

PDC: es el peso antes de la congelación.

Pmsd: es el peso después de la congelación.

- Exudado en la descongelación.

Determinar el Exudado en la descongelación:

$$\%gradoexudado = 100 - \left(\frac{PEC - PDD}{100} \right)$$

donde:

PEC: es el peso antes de la congelación.

PDD: es el peso después de la descongelación.