



T  
664.9453  
LLEd.

## ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

### Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencia de La Producción

Determinación experimental y cálculo teórico de las propiedades físicas en músculo fresco de camarón salvaje y de cultivo. Limitado al periodo estacional mayo/agosto: Aplicación al proceso de congelación a  $-18^{\circ}\text{C}$

### TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

### INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Carmen Emperatriz Llerena Ramírez

Guayaquil – Ecuador

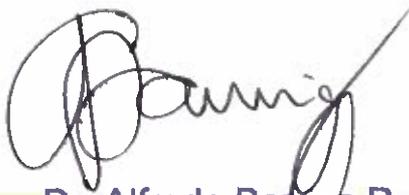
AÑO

2000

**TRIBUNAL DE GRADUACION**



Ing. Eduardo Rivadeneira P.  
DECANO DE LA FIMCP



Dr. Alfredo Barriga R.  
DIRECTOR DE TESIS



Dra. Nely Camba C.  
VOCAL



Ing. Francisco Andrade S.  
VOCAL



## DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente, y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de la E.S.P.O.L.)

Carmen Llerena Ramirez

## RESUMEN

En esta tesis se presentan generalidades sobre el camarón *Litopenaeus vannamei*, *Litopenaeus stylirostris*, de origen marino y cultivado en piscinas.

Se estudió la composición química en el período mayo, junio, julio, agosto, con estos datos se determinaron teóricamente las propiedades físicas (densidad, calor específico, conductividad térmica, y difusividad térmica) para lo cual se preparó un programa en Turbo Pascal para utilizar las ecuaciones de Choi & Okos, en el músculo del camarón a temperaturas de 24 °C y -18°C.

Se realizaron pruebas experimentales, para determinar valores de las propiedades físicas en músculo de camarón fresco y estos resultados se compararon con los teóricos.

Finalmente se usó los datos teóricos para calcular la carga térmica y el tiempo de congelación del músculo fresco de camarón a -18°C.



## INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCION.....	1
<b>I. GENERALIDADES DEL CAMARÓN Y CONSERVACION.....</b>	<b>3</b>
1.1 Morfología del camarón.....	4
1.2 Métodos de conservación del camarón ....	6
1.2.1 Factores extrínsecos.....	6
1.2.2 Factores intrínsecos: química de los camarones.....	8
1.3 Conservación por congelación.....	10
1.4 Influencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológico .....	16
<b>II PRUEBAS EXPERIMENTALES.....</b>	<b>18</b>
2.1 Materiales y métodos.....	18
2.2 Determinación de composición química proximal.....	20
2.2.1 Humedad.....	20
2.2.2 Proteínas.....	20

III RES	2.2.3 Grasas.....	20
3.1	2.2.4 Cenizas .....	21
2.2	2.2.5 Azúcares.....	22
2.3	2.3 Cálculo teórico de propiedades físicas en productos frescos utilizando la composición química con el modelo de Choi y Okos.....	24
2.3.1	Densidad.....	26
2.3.2	Calor específico.....	30
2.3.3	Difusividad térmica.....	33
IV	IV APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS AL PROCESO DE CONGELACIÓN (-18°C)	
2.3.4	Conductividad térmica.....	37
2.4	2.4 Determinación experimental de propiedades físicas.....	42
2.4.1	2.4.1 Densidad.....	43
2.4.2	2.4.2 Calor Específico.....	47
2.4.3	2.4.3 Difusividad térmica.....	51
2.4.4	2.4.4 Conductividad térmica.....	56
2.5	2.5 Cálculo de las propiedades físicas teóricas con el modelo de Choi & Okos en productos congelados a temperatura de -18°C utilizando la composición química.....	59
2.5.1	2.5.1 Densidad.....	61
2.5.2	2.5.2 Calor específico.....	64
2.5.3	2.5.3 Difusividad térmica.....	67
2.5.4	2.5.4 Conductividad térmica.....	72

<b>III RESULTADOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES.....</b>	<b>78</b>
3.1 Elaboración de tablas de resultados teóricos y experimentales.....	78
3.2 Comparación de resultados en producto fresco.....	107
3.2.1 Densidad.....	107
3.2.2 Calor específico.....	108
3.2.3 Difusividad térmica.....	109
3.2.4 Conductividad térmica.....	110
<b>IV APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS AL PROCESO DE CONGELACION (-18°C).....</b>	<b>113</b>
4.1 Cálculo de la carga térmica a remover para congelar en forma individual el músculo de camarón salvaje y de cultivo sin empacar.....	118
4.2 Cálculo del tiempo efectivo de congelación en el músculo de camarón salvaje y de cultivo sin empacar.....	124

**V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

**APENDICES**

**BIBLIOGRAFIA**

## ABREVIATURA

Bi	Biot.
Cal	Caloría.
C	Ceniza.
Ch	Carbohidrato.
°C	Grado centígrado.
Cp	Calor específico.
Cp <sub>A</sub>	Calor específico del agua.
Cp <sub>p</sub>	Calor específico de la proteína.
Cp <sub>H</sub>	Calor específico de la fracción del agua del alimento.
Cp <sub>C</sub>	Calor específico de la ceniza.
D	Diámetro.
Desv	Desviación estándar a partir de la media de los datos.
°K	Grado kelvin.
kg	Kilogramo.
kJ	Kilo Joules.
f	Factor de calentamiento.
F	Fibra.
Fo	Fourier.
G	Grasa.
g	Gramos.
i	Subíndice indica componentes del alimento.
J	Joules.
lt	Litro.
máx	Máximo.
mín	Mínimo.
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado.
m <sup>3</sup>	Metro cúbico.
ml	Mililitro.
Ms	Masa de la muestra.
Mw	Masa del agua.
P	Proteína.
pulg	Pulgada.
s	Segundo.
S1	Desviación estándar teórica.
S2	Desviación estándar experimental.
r <sup>2</sup>	Radio al cuadrado.
T	Temperatura.
Ta	Temperatura ambiente.
Ti	Temperatura inicial.
Tia	Temperatura inicial. ( del agua caliente)
To	Temperatura de equilibrio.
Ts	Temperatura de agua fría.
Tm	temperatura de la muestra.

## SIMBOLOGIA

$\Sigma$	Sumatoria
$\rho$	Densidad
$\rho_w$	densidad del agua
$\alpha$	Difusividad térmica
$\alpha_H$	Difusividad térmica de la parte de agua del alimento
$\alpha_P$	Difusividad térmica de la proteína
$\alpha_G$	Difusividad térmica de la grasa
$\alpha_C$	Difusividad térmica de la ceniza
$h$	Altura
$k$	Conductividad térmica
$L$	Longitud
$U$	Coficiente de transferencia de calor
$X_i$	Fracción másica de los componentes
$X_{iv}$	Fracción volumétrica de los componentes



## INDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Flujo térmico para un cilindro	14
Figura 1.2	Curva de congelación	15
Figura 2.3	Composición química proximal	23
Figura 2.4	Composición química proximal	24
Figura 2.5	Densidad teórica	29
Figura 2.6	Densidad teórica	29
Figura 2.7	Calor específico	32
Figura 2.8	Calor específico	32
Figura 2.9	Difusividad térmica	36
Figura 2.10	Difusividad térmica	36
Figura 2.11	Conductividad térmica	39
Figura 2.12	Conductividad térmica	39
Figura 2.13	Densidad térmica experimental <i>L. Vannamei</i>	46
Figura 2.14	Densidad térmica experimental <i>L. Stylirostri</i>	46
Figura 2.15	Valor de calor específico	50
Figura 2.16	Valor de calor específico	50
Figura 2.17	Valores de difusividad térmica <i>L. Vannamei</i>	54
Figura 2.18	Valores de difusividad térmica <i>L. Stylirostri</i>	54
Figura 2.19	Valores de conductividad térmica <i>L. Vannamei</i>	58
Figura 2.20	Valores de conductividad térmica <i>L. Vannamei</i>	59
Figura 2.21	Valores de densidad	63
Figura 2.22	Valores de densidad	63
Figura 2.23	Valores de calor específico	66
Figura 2.24	Valores de calor específico	66
Figura 2.25	Valores de difusividad térmica	70
Figura 2.26	Valores de difusividad térmica	70
Figura 3.27	Comportamiento de la densidad	84
Figura 3.28	Comportamiento de la densidad	85
Figura 3.29	Comportamiento del calor específico	91
Figura 3.30	Comportamiento del calor específico	92
Figura 3.31	Comportamiento de la difusividad térmica	98
Figura 3.32	Comportamiento de la difusividad térmica	99
Figura 3.33	Comportamiento de la conductividad térmica	105
Figura 3.34	Comportamiento de la conductividad térmica	106
Figura 4.35	Porcentaje de agua congelada	114
Figura 4.36	Dimensiones del congelador de tunel	115
Figura 4.37	Comportamiento de la carga	123

*INDICE DE CALCULOS*

*Pág*

Cálculo 1	Densidad teórica para el músculo de camarón de mar <i>L. Vannamei</i>	27
Cálculo 2	Calor específico teórico para el músculo de camarón de mar <i>L. Vannamei</i>	30
Cálculo 3	Difusividad térmica teórica para el músculo de camarón de mar <i>L. Vannamei</i>	33
Cálculo 4	Conductividad térmica teórica para el músculo de camarón de mar <i>L. Vannamei</i>	37
Cálculo 5	Densidad experimental a 24°C en camarón de mar <i>L. Vannamei</i>	44
Cálculo 6	Calculo del calor específico del agua	48
Cálculo 7	Calor específico experimental de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar.	49
Cálculo 8	Difusividad térmica experimental de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar .	53
Cálculo 9	Conductividad térmica experimental de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar.	57
Cálculo 10	Densidad teórica a -18 °C de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar.	61
Cálculo 11	Calor específico teórico a -18°C de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar.	64
Cálculo 12	Difusividad térmica teórica a -18 °C de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar.	67
Cálculo 13	Conductividad térmica teórica a -18 °C de camarón <i>L. Vannamei</i> de mar.	72
Cálculo 14	Estimación de carga frigorífica para un congelador de tunel en kJ.	124
Cálculo 15	Estimación del tiempo de congelación para el músculo De camarón.	127

## INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla I Composición química músculo del camarón/ 100 g en base húmeda	10
Tabla II Composición química promedio <i>L. Vannamei</i> de mar	21
Tabla III Composición química promedio <i>L. Stylirostri</i> de mar	22
Tabla IV Composición química promedio <i>L. Vannamei</i> de piscina	22
Tabla V Composición química promedio <i>L. Stylirostri</i> de piscina	23
Tabla VI Ecuaciones matemáticas generales de Choi & Okos para Calcular propiedades físicas de alimentos a temperaturas Entre (150 - 0°C)	26
Tabla VII Resultados teóricos promedio de las propiedades <i>L. Vannamei</i> de mar	40
Tabla VIII Resultados teóricos promedio de las propiedades <i>L. Stylirostri</i> de mar	41
Tabla IX Resultados teóricos promedio de las propiedades <i>L. Vannamei</i> de piscina	41
Tabla X Resultados teóricos promedio de las propiedades <i>L. Stylirostri</i> de piscina	42
Tabla XI Ecuaciones para calcular propiedades físicas experimentalmente	43
Tabla XII Difusividad térmica a temperatura menor a 0°C	60
Tabla XIII Resultados teóricos promedio de las propiedades físicas del <i>L. Vannamei</i> de mar a -18 °C	75
Tabla XIV Resultados teóricos promedio de las propiedades físicas del <i>L. Stylirostri</i> de mar a -18 °C	76
Tabla XV Resultados teóricos promedio de las propiedades físicas del <i>L. Vannamei</i> de cautiverio a -18 °C	76
Tabla XVI Resultados teóricos promedio de las propiedades físicas del <i>L. Stylirostri</i> de cautiverio -18 °C	77
Tabla XVII Promedios mensuales de densidad (kg/m <sup>3</sup> ) a 24 °C Experimental y teórico de músculo de camarón <i>L. Vannamei</i>	80
Tabla XVIII Promedios mensuales de densidad (kg/m <sup>3</sup> ) a 24 °C Experimental y teórico de músculo de camarón <i>L. Stylirostri</i>	81
Tabla XIX Promedios mensuales de calor específico (kJ/kg°C) a 24 °C y -18°C en músculo de camarón <i>L. Vannamei</i>	82
Tabla XX Promedios mensuales de densidad (kg/m <sup>3</sup> ) a 24 °C Y -18°C en músculo de camarón <i>L. Stylirostri</i>	83
Tabla XXI Promedios mensuales de calor específico (kJ/kg °C) a 24 °C y teórico en el músculo de camarón	

## AGRADECIMIENTO

A todas las personas  
que de uno u otro modo  
colaboraron en la  
realización de este  
trabajo y especialmente  
el Dr. Alfredo Barriga  
Director de Tesis, por  
su invaluable ayuda.



## Introducción

La acuicultura en el Ecuador está orientada básicamente a la maricultura del camarón, se inició la crianza de camarones en cautiverio en el año de 1966 por iniciativa de la empresa privada que con muy poca tecnología lograron desarrollar una actividad altamente rentable pasando a convertirse en una de las principales fuentes de divisas en el país en comparación de otros productos agroindustriales. Actualmente existen 178.000 has dedicadas para esta actividad, correspondiente al 68 % a suelos sin vocación agrícola y 32% a zonas de playa. Estos criaderos se encuentran localizados en toda la zona costera, aunque su mayor crecimiento corresponde a la provincia del Guayas con 107.100 has, seguida por la provincia del Oro con 39.000 has, la provincia de Manabí con 17.800 has y Esmeraldas con 14.100 has.

Las especies de cultivo corresponde por el gran interés comercial en un 96 % a *Litopenaeus vannamei*, y el 10 % a *Litopenaeus Stylirostris* que son los que mejor se adaptan al sistema de crías en piscinas. La captura de camarón marino por la flota industrial, representa entre el 3 y 5 % de la producción total camaronera nacional.

Nuestro país, al igual que otros países en desarrollo, responde a una propia realidad socio - económica y técnica que requiere de sus Universidades,

soluciones acordes con sus necesidades; lo que significa generar investigación particular y mano de obra técnica capaz de encarar con éxito los problemas propios con los pequeños recursos pero con la proyección a manejar, adaptar y generar el conocimiento y la técnica de avanzada.

En esta tesis se va investigar las propiedades térmicas del camarón salvaje y de cultivo, considerando de gran importancia: densidad, calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica, teóricas y experimentales, para aplicarlas al proceso de congelación a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En épocas anteriores fue práctica común utilizar valores generales de las propiedades térmicas de los alimentos para su aplicación en cálculo de ingeniería; actualmente, es una necesidad de disponer de mas precisos y específicos para los diferentes productos que se van a congelar. Se conoce que las propiedades térmicas cambian con la composición y en menor extensión según la temperatura y presión. Son múltiples los usos de los datos térmicos en la Ingeniería de Alimentos. Para el diseño y control de equipos o comparación de máquinas provenientes de diversas casas comerciales. Para el control de operación de plantas industriales. Podríamos concluir que es probable que por falta de datos tengamos muchas limitaciones en el diseño de procesos para productos alimenticios.

# CAPITULO 1

## 1. Generalidades del camarón y su conservación

En el litoral ecuatoriano encontramos diferentes géneros y especies de camarones de gran interés comercial siendo el *Litopenaeus vannamei* y el *Litopenaeus stylirostris* los que mejor se adaptan al sistema de criaderos en piscinas. De los cuales el *Litopenaeus vannamei* es el de mayor porcentaje de sobrevivencia, en relación al *Litopenaeus stylirostris* que tiene problemas debido a la salinidad.

Se distribuyen en el pacífico oriental desde México hasta Paita, Perú, y en el Ecuador desde Esmeraldas hasta Puerto Bolívar. El tipo de pesca del camarón es artesanal e industrial, el arte de pesca que emplea es el trasmallo de fondo y red de arrastre. (18)

## 1.1 Morfología del camarón

El camarón está constituido por cefalotórax y abdomen y las dos variedades que vamos a estudiar son *Litopenaeus vannamei* y *Litopenaeus stylirostri*.

### a) Cefalotorax o cabeza (perión)

Se encuentra localizada en la parte anterior del organismo y contiene la mayor parte de los órganos vitales, así tenemos rostro, anténulas, antenas (órganos sensitivos), aparato bucal. Interiormente se encuentra la parte anterior y media del aparato digestivo, hepatopancreas, branquias, gónadas. Exteriormente se observan cinco pares de patas que le sirven para caminar y se llaman periópodos. (18)

### b) Abdomen o cola ( pleon )

Se encuentra en la parte posterior del cuerpo, constituye la masa muscular comestible, el abdomen se extiende desde la parte posterior de la cabeza hasta el extremo posterior del telson. Posee seis segmentos que van reduciendo paulatinamente su diámetro hasta llegar al último que es un poco más largo que los anteriores. Los cinco primeros segmentos presentan un par de apéndices sirven para nadar, llamados pleópodos. En la parte final del último segmento se



encuentra el telson y dos pares de apéndices llamados urópodos que le sirven para impulsarse.(18)

La familia Penaeidae incluye numerosas especies las más comerciales son el *Litopenaeus vannamei*, *L. stylirostris*, *L. occidentalis*, *Farfantepenaeus californiensis*, *Peneaus brevirostris*, *Protrachypene prepicua*, *Trachypenaeus byrdy*, *Trachypenaeus face*, *Trachypenaeus pacificus*, *Xiphopenaeus riveti*.

**a) *Penaeus (Litopenaeus) stylirostris* Stimpson**

"Camarón Blanco" Ver anexo A ( foto 1)

El rostro tiene 7 a 8 dientes en su cresta dorsal, 3 a 6 en su cresta ventral y es curvado hacia arriba. El tercio anterior dorsal del rostro no lleva dientes.(18)

**b) *Penaeus ( Litopenaeus) vannamei* Boone**

"Camarón blanco" Ver anexo A ( foto 2)

El rostro tiene 8 a 9 dientes sobre su cresta dorsal y 1 a 2 dientes en su cresta ventral. El segundo diente de la cresta ventral está al mismo nivel o delante del primer diente de la cresta dorsal. (18)

Dependiendo del tipo de flora es posible su desarrollo desde temperaturas de  $-15^{\circ}\text{C}$  hasta casi  $80^{\circ}\text{C}$ . De allí que los microorganismos pueden clasificarse en psicrófilos, mesófilos, termófilos, dependiendo de su temperatura óptima de crecimiento.

#### **b) Tiempo de almacenamiento**

En la mayoría de los productos del mar, el tiempo de conservación aumenta mientras más bajas sean las temperaturas de almacenamiento.

#### **c) Influencia atmosférica**

Dentro de este grupo tenemos: humedad, tensión parcial de gases, presión parcial de oxígeno.

Una baja humedad relativa en la atmósfera de las cámaras de almacenamiento puede provocar desecaciones superficiales del músculo del camarón. La influencia de la tensión gaseosa en relación con el valor Eh (potencial redox), depende de la composición química y además de la presión parcial del

oxígeno del alimento y esta a su vez determina que la flora acompañante del músculo sea aerobia ó anaerobia.

Las variaciones en la tensión parcial de los gases llevan consigo correspondientes modificaciones de la microflora natural del producto.

### 1.2.2 Factores intrínsecos

Se refieren a las características físico químicas o bioquímicas del alimento que acortan su tiempo de vida útil, luego de su extracción del hábitat natural.

#### a) Sustancias constitutivas: composición química.

El componente más importante del músculo del camarón es la proteína. La mayor proporción de la proteína muscular tiene como constituyentes principales al miógeno, globulina X, mioalbumina, entre el 20 - 30%. También están contenidas proteínas en baja cantidad entre ellas tenemos colágeno, elastina, conectina.

Los principales aminoácidos contenidos en la proteína son: Glicina, Arginina y Prolina, cuya combinación produce sabores típicos de la especie. Otros compuestos nitrogenados presentes en el músculo del camarón, contribuyen a la formación del sabor y del olor así tenemos a la Betanina de Glicina, que se reduce por causa de microorganismos, se transforma en Trimetilamina, dando un fuerte olor.

Entre los lípidos presentes en el músculo están los ácidos grasos insaturados como la taurina.

En los langostinos encontramos a la fibra como quitina y mucopolisacáridos. La quitina es un polisacárido, que se encuentra en el caparazón de camarón, y la que le otorga dureza al mismo. (14)

Los presentados a continuación se encontró detallada en la tabla de composición química de alimentos ecuatorianos del Instituto de Nacional de Higiene

**TABLA I**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MÚSCULO DEL**  
**CAMARÓN / 100 g EN BASE HÚMEDA (13)**

HUMEDAD	83.4%
CALORÍAS	73
PROTEÍNA	16.4
GRASA	0.3
CARBOHIDRATO	0
FIBRA	0
CENIZA	0.7
CALCIO	56 mg
FÓSFORO	136 mg
HIERRO	2.7 mg
TIAMINA	0.01 mg
RIBOFLAVINA	0.01 mg
NIACINA	0.93 mg

### 1.3 Conservación por congelación

La congelación consta de las tres etapas siguientes:

- a) Enfriamiento del producto desde la temperatura de ingreso en el congelador industrial, hasta el punto de congelación escogido tecnológicamente.
- b) Extracción del calor de solidificación.
- c) Enfriamiento del producto hasta la temperatura final.

La congelación debe su poder conservador a dos efectos.

1. A la transformación del agua líquida en hielo, obstaculizando toda actividad microbiológica y disminuyendo la actividad enzimática.
2. Y el efecto térmico que provoca el enfriamiento de los productos tratados hasta zonas de temperatura en las que las actividades biológicas se reducen al mínimo.

Cuando se congela un alimento la transferencia térmica es en estado transitorio, porque cambia la temperatura con el tiempo para una posición determinada en el alimento.

La velocidad de congelación es la velocidad lineal de avance del frente de hielo, que se desplaza hacia el interior del producto a congelar (5), y que no es constante, sino que cambia a medida que aumenta la distancia de la superficie externa del producto en congelación. Cuanto mayor es la velocidad de congelación, tanto más fina es la estructura cristalina, depende principalmente de la diferencia de temperatura entre el producto a congelar y el medio refrigerante, del contenido en agua de los alimentos, y la forma de los géneros a enfriar, del calor latente de fusión, de la difusividad térmica de los alimentos a enfriarse y de la curva de

solidificación durante la congelación. Bibliográficamente se ha determinado que los sistemas de congelación se clasifican según la velocidad de avance del frente de hielo, como sigue (6):

Menos de 0.1 cm/h	Congelación muy lenta.
0.1- 0.5 cm/h	Congelación lenta.
0.5-5 cm/h	Congelación rápida.
Más de 5 cm/h	Congelación muy rápida

Por lo cual es importante conocer el tiempo efectivo de congelación que constituye el tiempo preciso para disminuir la temperatura del producto a congelar, desde la temperatura inicial media uniforme  $t_0$  hasta la temperatura tecnológicamente elegida  $t_c$ , en el centro térmico. Es importante puesto que permite determinar los tiempos de mantenimiento del producto en el congelador industrial, la cantidad de producto, dependiendo si el calor se disipa por toda la superficie o solamente por una parte de ella y si el objeto se congela empacado y sin empacar.

Si el mecanismo de transferencia de calor predominante es por conducción como sucede en los alimentos sólidos, se pueden usar

gráficas para determinar la tasa de transferencia térmica durante la congelación de alimentos de geometría diferentes, el factor de temperatura, que es la fracción de cambio de temperatura que no se completa, viene dado por:

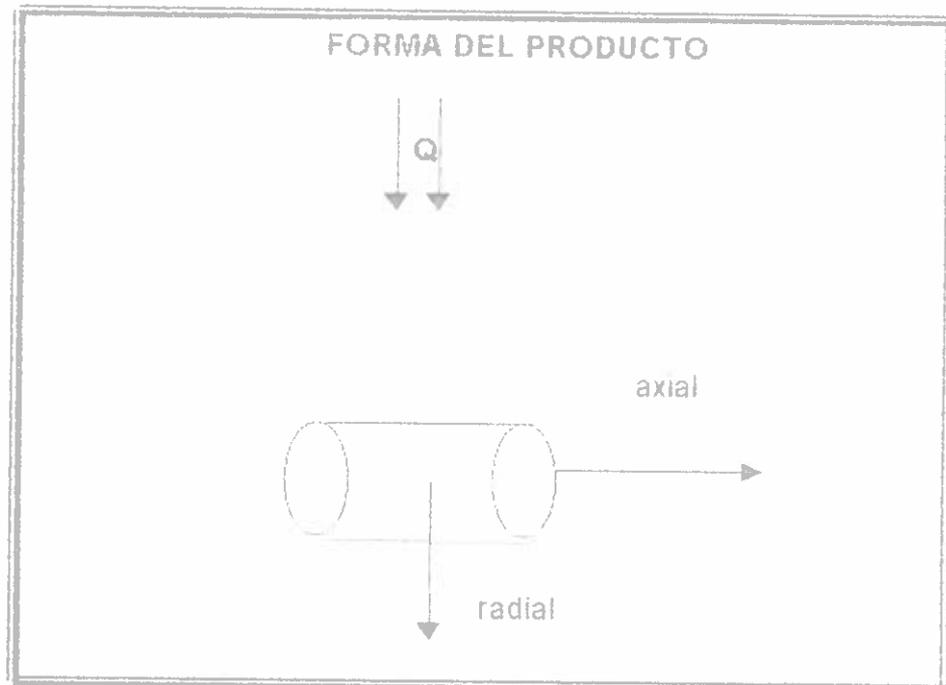
El número de Fourier  $Fo$ , que concierne a las propiedades físicas y dimensionales del sólido y al tiempo, viene dado por:

$$Fo = (k / cp) * (t / r^2) \quad (1)$$

El número de Biot, o relación de las tasas de transferencia térmica convectiva, viene dado por :

$$Bi = h * r / k \quad (1)$$

Para un cilindro finito el flujo de calor es bidimensional, es decir se produce en dirección radial y axial como se puede observar en la figura 1.1. El espesor del producto es 1.5 cm y el largo es de 9 cm.



**FIGURA 1. 1: FLUJO TÉRMICO PARA UN CILINDRO**

Este diagrama fue elaborado usando un congelador doméstico y varía de acuerdo con los siguientes factores: método de congelación, tamaño, forma, composición química, la presencia de solutos disueltos, y las propiedades físicas del producto. De acuerdo con estos factores, la curva de congelación discurre más o menos empinada o bien se desvía hacia arriba o abajo.

En la curva de congelación hay tres fases: Fase I o etapa de enfriamiento, desde (A) hasta (B), la fase II desde (B) hasta (C),

que constituye la zona de máxima cristalización, y la fase III ó zona de sub- enfriamiento desde (C) hasta (D). ( ver figura 1.2)

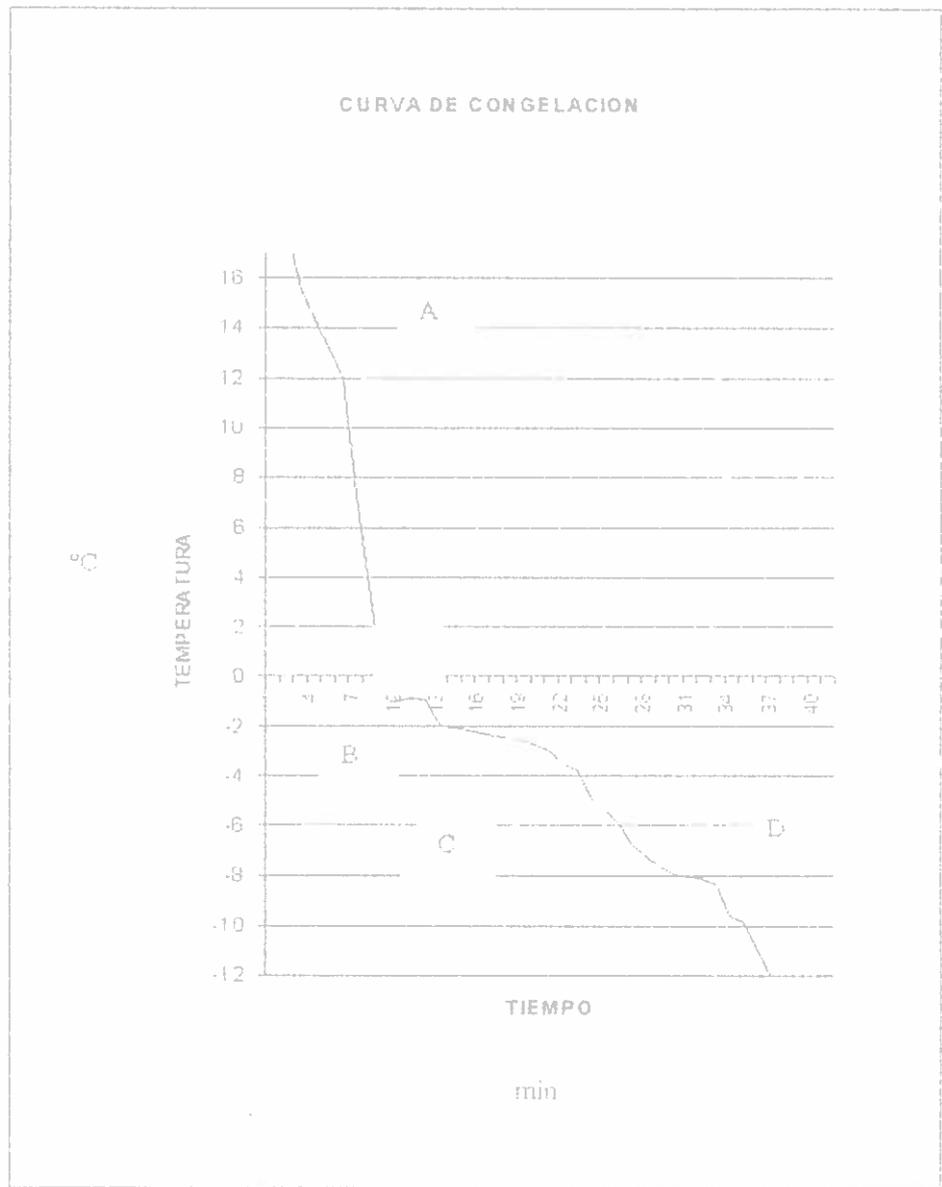


FIGURA 1.2 : Curva de congelación

Elaborada por : Carmen Llerena

Fecha:11/07/2000

#### 1.4 Influencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos sobre la calidad del producto congelado.

La congelación y el almacenamiento congelado producen la desnaturalización de las proteínas, así como la ruptura de células musculares. Estas modificaciones son pequeñas cuando la congelación es rápida y la temperatura de almacenamiento muy baja, pero resultan apreciables en los casos de congelación lenta y con temperatura de almacenamiento relativamente alta; esto se atribuye a que se forman en los tejidos grandes cristales de hielo que rompen las células, favoreciendo el contacto entre lípidos y lipasas, que aun son activas a temperaturas muy bajas, lo que explica la liberación de los ácidos grasos; estos últimos, al fijarse sobre las proteínas, contribuyen a hacer hidrófobas, a desnaturalizarlas y también se pierde la proteína hidrosoluble.

Las modificaciones físico - químicas desfavorables son provocadas por el cambio de fase agua a hielo. La principal consecuencia de este proceso es el descenso de la capacidad de retención de agua, provocando la pérdida de peso, por deshidratación.

La carne de crustáceos contiene enzimas proteolíticas y una debil



proporción (del orden de 0.5 %) de glúcidos, lo que hace que resulten más rápidamente susceptibles a la alteración, que la mayoría de pescados; por otro lado, esto da lugar a la producción más abundante de compuestos nitrogenados volátiles.

El camarón se comienza a congelar a temperaturas por debajo de 0 °C, experimentalmente observamos que comienza a congelarse aproximadamente a - 0.9°C, esto se debe a las sales y a otras sustancias químicas que se hallan naturalmente presentes en el músculo.

Cuando el camarón se congela, la acción bacteriana se reduce y por debajo de los -10 °C, es imposible que puedan crecer y causar alteraciones los microorganismos. Todos estos cambios químicos y bioquímicos que pueden inducir modificaciones irreversibles en el olor, sabor y aspecto, incluso a temperaturas de -30 °C. Recién se paraliza toda reacción bioquímica cuando el alimento alcanza - 60 °C (5).

**TABLA III**

**QUIMICA PROMEDIO *L. Styllostri* DE MAR**

UNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
8,02	78,75	78,34	78,83
8,25	18,01	18,38	18,04
2,26	2,23	2,35	2,22
0,50	0,53	0,51	0,49

**TABLA IV**

**QUIMICA PROMEDIO *L. Vannamei* DE CAUTIVERIO**

UNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
5,64	75,94	75,79	76,13
0,03	20,54	20,41	20,37
2,01	1,75	1,59	1,37
1,05	1,04	1,04	1,04

en Llerena      Fecha: 11/07/2000

Los materiales fungibles utilizados fueron:

a) Materiales de vidrio: ( básicos de laboratorio)

1. Probeta, beacker, vidrio reloj, embudos, varillas de vidrio, balones de destilación, dedales filtrantes, algodón desengrasado, soporte universal.
2. Desecador con silicagel.

b) Equipos y accesorios:

1. Estufa memerth: de 100°C – 150°C (+/- 2°C).
3. Termómetros: tipo aguja digital y de mercurio.
4. Balanza analítica: sartorius con capacidad 1500 g (+/- 0.2 g).
5. Baño de María memerth: regulado a 64 °C ( +/- 2 °C).
6. Extractor de grasa soxhlet.
7. Extractor kjeldahl.
8. Cilindros de cobre: de 1,5 cm de ancho y 15 cm de alto.
9. Mufla memerth: de 600 – 650 °C .
10. Calorímetro de tubo y tapa aislado.
11. Termocupla: tipo aguja +/- 2°C.

## 2.2 Determinación de composición química proximal

Todas las muestras se analizarón por triplicado usando lo establecido

por la Asociación of Official Analytical Chemists ( AOAC), durante los meses de mayo, junio, julio, agosto. Ver los resultados promedios en las tablas II,III,IV, V.

### **2.2.1 Humedad (2)**

Método A.O.A.C 118.006 (desde 1976)

En el músculo fresco de camarón vamos a determinar el contenido de humedad por deshidratación de la muestra . ( Ver anexo B)

### **2.2.2 Proteínas brutas (2)**

Método AOAC 984.13 (primera revisión 1984).

En el músculo fresco de camarón vamos a determinar por titulación la cantidad de nitrógeno presente. ( Ver anexo C)

### **2.2.3 Grasas**

Método AOAC 920.39. (2)

En el músculo fresco de camarón vamos a determinar el porcentaje de extracto etéreo presente. (ver anexo D)

#### 2.2.4 Cenizas totales (2)

Método AOAC 942.05

En el músculo fresco de camarón vamos a determinar el contenido de elementos minerales presentes. ( Ver anexo E)

Los resultados promedios de las especies utilizadas se presentan en las tablas II, III, IV, V descritas a continuación, estos valores fueron calculados en base húmeda y serán usados para determinar las propiedades físicas teóricas a presión constante y a temperaturas de 24 °C y -18°C. Ver anexo Q.

**TABLA II**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO *L. Vannamei* DE MAR**

%	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
HUMEDAD	80,01	78,98	77,71	78,83	78,88
PROTEÍNA	17,03	18,06	18,25	18,05	17,97
CENIZAS	2,08	2,38	2,57	2,50	2,38
GRASAS	0,41	0,51	0,73	0,58	0,56

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

**TABLA III**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO *L. Styllrostris* DE MAR**

%	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
HUMEDAD	80,02	78,02	78,75	78,34	78,83
PROTEÍNA	17,50	18,25	18,01	18,38	18,04
CENIZAS	2,05	2,26	2,23	2,35	2,22
GRASAS	0,41	0,50	0,53	0,51	0,49

**TABLA IV**

**COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO *L. Vannamei* DE CAUTIVERIO**

%	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
HUMEDAD	77,15	75,64	75,94	75,79	76,13
PROTEÍNA	19,50	20,03	20,54	20,41	20,37
CENIZAS	2,03	2,01	1,75	1,59	1,37
GRASAS	1,01	1,05	1,04	1,04	1,04

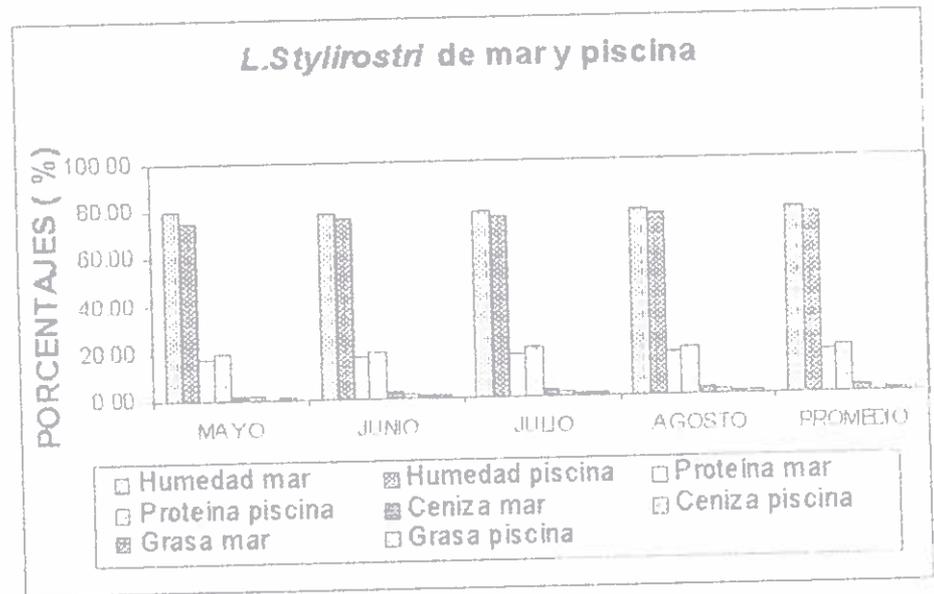
Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

**TABLA V**  
**COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIO *L. Stylirostri* DE**  
**CAUTIVERIO**

%	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	PROMEDIO
HUMEDAD	75,30	76,20	75,58	76,34	75,86
PROTEÍNA	20,07	20,10	20,57	20,11	20,21
CENIZAS	2,15	1,81	1,65	2,14	1,94
GRASAS	1,04	1,02	1,04	1,02	1,03

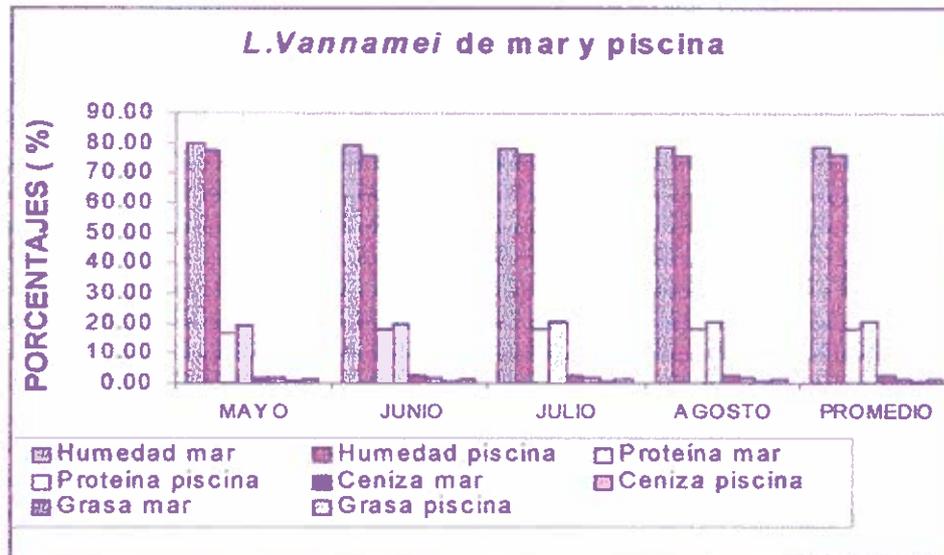
Unas gráficas que nos resumen el comportamiento de las especies estudiadas *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina son:



Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

**FIGURA 2.3: Composición química proximal**



Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

FIGURA 2.4: Composición química proximal.

### 2.3 Cálculo teórico de las propiedades físicas en productos frescos utilizando la composición química con el modelo de Choi & Okos.

Basándose en el efecto de la temperatura y la composición química sobre las propiedades físicas de los alimentos. Choi y Okos (1986) desarrollaron unas ecuaciones matemáticas a presión constante para predecir las propiedades físicas de productos alimenticios sólidos, según las fracciones en peso o volumen de los componentes mayores puros como son el agua, la grasa, la proteína, la ceniza.

Para facilitar el uso del mismo, se efectuó un programa en Turbo Pascal, descrito en el Anexo F, que presenta una serie de pantallas como las descritas ver el anexo G.

Las ecuaciones de la tabla VI se usan para alimentos con un rango 10 - 60 % de sólidos, entre intervalos de temperatura de 150 - 0 °C. Los valores de estas ecuaciones se obtienen mediante la aplicación de modelos matemáticos lineales considerando las fracciones de los pesos de los componentes principales del alimento, para calcular la densidad y el calor específico, se usó un picnómetro volumétrico y un calorímetro diferencial de rastreado respectivamente. Los datos de conductividad térmica y difusividad térmica fueron recogidos por el método de sondeo.

(3)

Se observó en el estudio de Choi & Okos el efecto de la temperatura en las propiedades térmicas de los componentes puros de los alimentos analizados, de allí que para obtener los valores de los componentes se debe seleccionar una determinada temperatura, en este caso se estandarizó el cálculo a 24 °C.

1. El valor  $\rho_i$  a 24 °C, que se obtiene para cada componente del músculo de camarón: agua  $\rho_H$ , proteína  $\rho_P$ , grasa  $\rho_G$ , minerales  $\rho_C$ .
2. El valor de la fracción másica  $X_i$ , de cada uno de los componentes basada en su contenido nutricional: agua  $X_H$ , proteína  $X_P$ , grasa  $X_G$ , minerales  $X_C$ .
3. Calcular la fracción  $X_i / \rho_i$  de cada componente: agua  $X_H / \rho_H$ , proteína  $X_P / \rho_P$ , grasa  $X_G / \rho_G$ , minerales  $X_C / \rho_C$ .
4. Aplicar la fórmula general.

### Ejemplo:

**Cálculo 1: Densidad teórica para el músculo de camarón de mar *L. Vannamei*.**

$$\rho = 1 / (\sum X_i / \rho_i) \quad (3)$$

1. El valor  $\rho_i$  a 24 °C del agua, proteína, grasa, y ceniza respectivamente.

$$\rho_H = 9,9718 \times 10^2 + 3,1439 \times 10^{-3} (24) - 3,7574 \times 10^{-3} (24)^2$$

$$\rho_H = 995,091 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_P = 1,3299 \times 10^3 - 5,1840 \times 10^{-1} (24) = 1317,46 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_G = 9,2559 \times 10^2 - 4,1757 \times 10^{-1} (24) = 915,57 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_C = 2,4238 \times 10^3 - 2,8063 \times 10^{-1} (24) = 2417,06 \text{ Kg/m}^3$$

2. Fracción másica  $X_i$  : del agua  $X_H$ , proteína  $X_P$ , grasa  $X_G$ , ceniza  $X_C$ , respectivamente:

$$X_H = 79,01/100 = 0,7901$$

$$X_P = 18,0 / 100 = 0,18$$

$$X_G = 0,42/ 100 = 0,0042$$

$$X_C = 1,05/ 100 = 0,0105$$

3. Calcular la fracción  $X_i / \rho_i$  de los componentes: agua  $X_H / \rho_H$ , proteína  $X_P / \rho_P$ , grasa  $X_G / \rho_G$ , y ceniza  $X_C / \rho_C$ , respectivamente:

$$X_H / \rho_H = 0,7901/995,0912 = 7,985 \times 10^{-4}$$

$$X_P / \rho_P = 0,18/1317,46 = 1,4384 \times 10^{-4}$$

$$X_G / \rho_G = 0,0042/915,57 = 2,7305 \times 10^{-6}$$

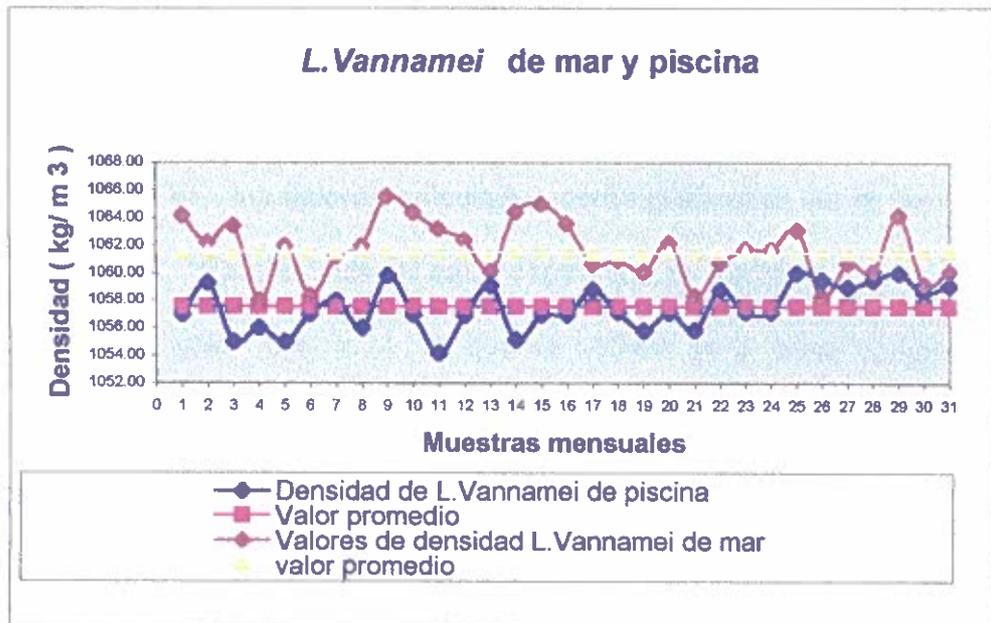
$$X_C / \rho_C = 0,0105/2417,06 = 7,8416 \times 10^{-6}$$

4. Aplicación de la fórmula general.

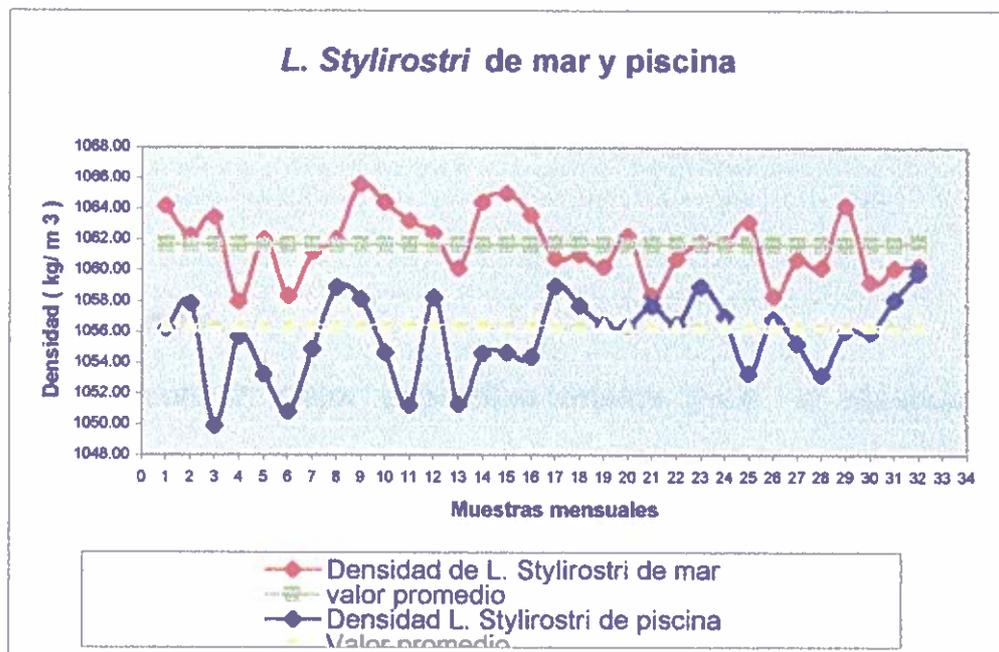
$$\rho = 1/ (7,985 \times 10^{-4} + 1,4384 \times 10^{-4} + 2,73 \times 10^{-6} + 7,8 \times 10^{-6}) =$$

$$\rho = 1064,19 \text{ Kg/m}^3$$

**VALORES DE DENSIDAD TEÓRICA**



**FIGURA 2.5: Densidad teórica**



**FIGURA 2.6: Densidad teórica**

### 2.3.2 Calor específico

Para calcular el calor específico teórico del músculo de camarón a 24 °C, se utiliza la ecuación general descrita en la tabla VI, los valores calculados están graficados en la figura 2.7 y 2.8. Para calcular el calor específico se necesita:

1. El valor  $Cp_i$  a 24 °C, que se obtiene para cada componente del músculo de camarón: agua  $Cp_H$ , proteína  $Cp_P$ , grasa  $Cp_G$ , minerales  $Cp_C$ .
2. El valor de la fracción másica  $X_i$ , de cada uno de los componentes basada en su contenido nutricional: agua  $X_H$ , proteína  $X_P$ , grasa  $X_G$ , minerales  $X_C$ .
3. Calcular el valor  $X_i (Cp_i)$  de cada componente: agua  $X_H (Cp_H)$ , proteína  $X_P (Cp_P)$ , grasa  $X_G (Cp_G)$ , minerales  $X_C (Cp_C)$  y aplicar la fórmula general

**Ejemplo:**

**Cálculo 2: Calor específico teórico para el músculo de camarón de mar *L. Vannamei*.**

$$Cp = \sum Cp_i X_i \quad (3)$$

1. El valor  $Cp_i$  a 24 °C del agua, proteína, grasa, y ceniza respectivamente.

$$Cp_H = 4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5} (24) + 5,4731 \times 10^{-6} (24)^2 = 3,961$$

$$C_{pP} = 2,0082 + 1,2089 \times 10^{-3}(24) - 1,3129 \times 10^{-6}(24)^2 = 2,03646$$

$$C_{pG} = 1,9842 + 1,4733 \times 10^{-3}(24) - 4,8008 \times 10^{-6}(24)^2 = 2,01679$$

$$C_{pC} = 1,0926 + 1,8896 \times 10^{-3}(24) - 3,6817 \times 10^{-6}(24)^2 = 1,1352$$

2. Fracción másica  $X_i$  : del agua  $X_H$ , proteína  $X_P$ , grasa  $X_G$ , ceniza  $X_C$ , respectivamente:

$$X_H = 79,01/100 = 0,7901$$

$$X_P = 18,0 / 100 = 0,18$$

$$X_G = 0,42/ 100 = 0,0042$$

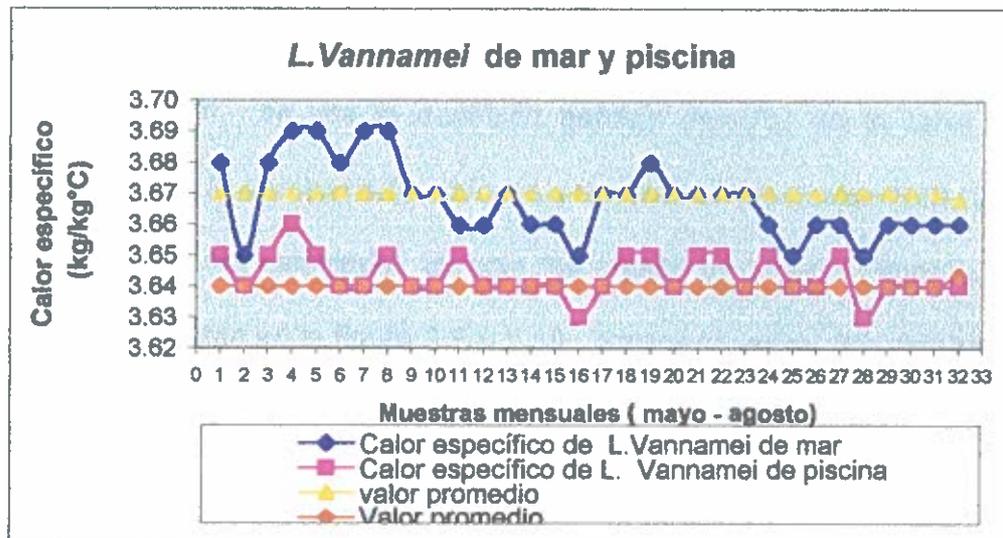
$$X_C = 1,05/ 100 = 0,0105$$

3. Aplicar la fórmula general.

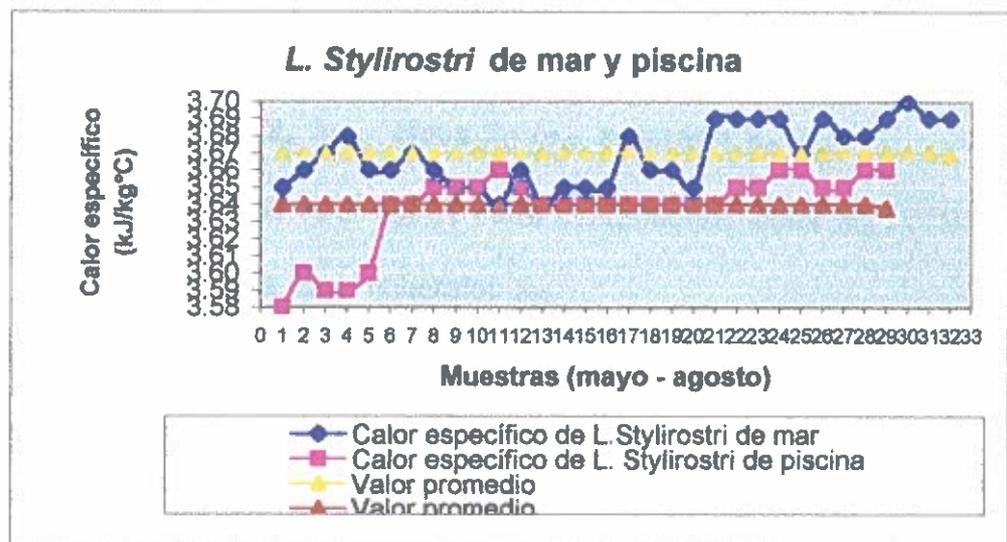
$$C_p = (3,961)(0,7901) + (2,03)(0,18) + (2,01)(0,0042) + (1,1)(0,0105) =$$

$$C_p = 3,69 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C}$$

## VALORES DE CALOR ESPECÍFICO TEÓRICO



**FIGURA 2.7: Calor específico**



**FIGURA 2.8: Calor específico teórico**

### 2.3.3 Difusividad térmica

Para calcular la difusividad térmica teórica del músculo de camarón, se usa la ecuación general descrita en la tabla VI, usando la composición química proximal de las tablas II, III, IV, V, los valores calculados durante los meses de mayo – agosto, se encuentran en la figura 2.9 y 2.10. Son necesarios los siguientes valores:

1. El valor  $\alpha_i$  a 24 °C, que se obtiene para cada componente del músculo de camarón: agua  $\alpha_H$ , proteína  $\alpha_P$ , grasa  $\alpha_G$ , minerales  $\alpha_C$ .
2. Calcular la fracción  $X_i / \rho_i$  de cada componente: agua  $X_H / \rho_H$ , proteína  $X_P / \rho_P$ , grasa  $X_G / \rho_G$ , minerales  $X_C / \rho_C$ .
3. Calcular el valor  $X_{iv}$  de cada componente: agua  $X_{iH}$ , proteína  $X_{iP}$ , grasa  $X_{iG}$ , minerales  $X_{iC}$ .
4. Aplicación de la fórmula para la difusividad térmica de la tabla VI.

**Ejemplo:**

**Cálculo 3: Difusividad térmica para el músculo de camarón de mar *L. Vannamei*.**

$$\alpha = \sum (\alpha_i) (X_{iv}) \quad (3)$$

1. Calcular  $\alpha_i$  del agua  $\alpha_H$ , proteína  $\alpha_P$ , grasa  $\alpha_G$ , ceniza  $\alpha_C$  respectivamente.

$$\alpha_H = [1,3168 \times 10^{-1} + 6,2477 \times 10^{-4} (24) - 2,4022 \times 10^{-6} (24)^2] / 10^6$$

$$\alpha_H = 1,4529 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_G = [0,8777 \times 10^{-2} - 1,2569 \times 10^{-4} (24) - 3,8286 \times 10^{-6} (24)^2] / 10^6$$

$$\alpha_G = 9,5883 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_P = [6,8714 \times 10^{-2} + 4,7578 \times 10^{-4} (24) - 1,4646 \times 10^{-6} (24)^2] / 10^6$$

$$\alpha_P = 0,928 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_C = [1,2461 \times 10^{-1} + 3,7321 \times 10^{-4} (24) - 1,2244 \times 10^{-6} (24)^2] / 10^6$$

$$\alpha_C = 1,3286 \times 10^{-7}$$

2. Sumar los valores obtenidos en la fracción ( $X_i / \rho_i$ )

$$\Sigma (X_i / \rho_i) = 0,18/1317,46 + 0,0042/915,57 + 0,0105/2417,06 + 0,79/995,09 = 9,512 \times 10^{-4}$$

3. Calcular el valor  $X_{iV}$  de los componentes.

$$X_{iV} = (x_i / \rho_i) / \Sigma (x_i / \rho_i)$$

a)  $X_i / \rho_i$  del agua, proteína, grasa, ceniza, respectivamente.

$$X_H / \rho_H = 0,7945 / 995,091 = 7,984 \times 10^{-4}$$

$$X_P / \rho_P = 0,1895 / 1317,46 = 1,4384 \times 10^{-4}$$

$$X_g/\rho_g = 0,0025 / 915,57 = 2,73 \times 10^{-6}$$

$$X_c/\rho_c = 0,0122 / 2417,06 = 5,047 \times 10^{-6}$$

$$\Sigma (x_i/\rho_i) = 6.512 \times 10^{-4}$$

**b)  $(X_i/\rho_i) / \Sigma (x_i/\rho_i)$  de los componentes del agua  $X_H/\rho_H$ ,  
proteína  $X_P/\rho_P$ , grasa  $X_G/\rho_G$ , ceniza  $X_C/\rho_C$ .**

$$(X_H/\rho_H) = [ 0,7946/995,091 ] / 6,512 \times 10^{-4} = 0,8395$$

$$(X_P/\rho_P) = [ 0,1895/1317,46 ] / 6,512 \times 10^{-4} = 0,1512$$

$$(X_G/\rho_G) = [ 0,0025/915,57 ] / 6,512 \times 10^{-4} = 2,87 \times 10^{-3}$$

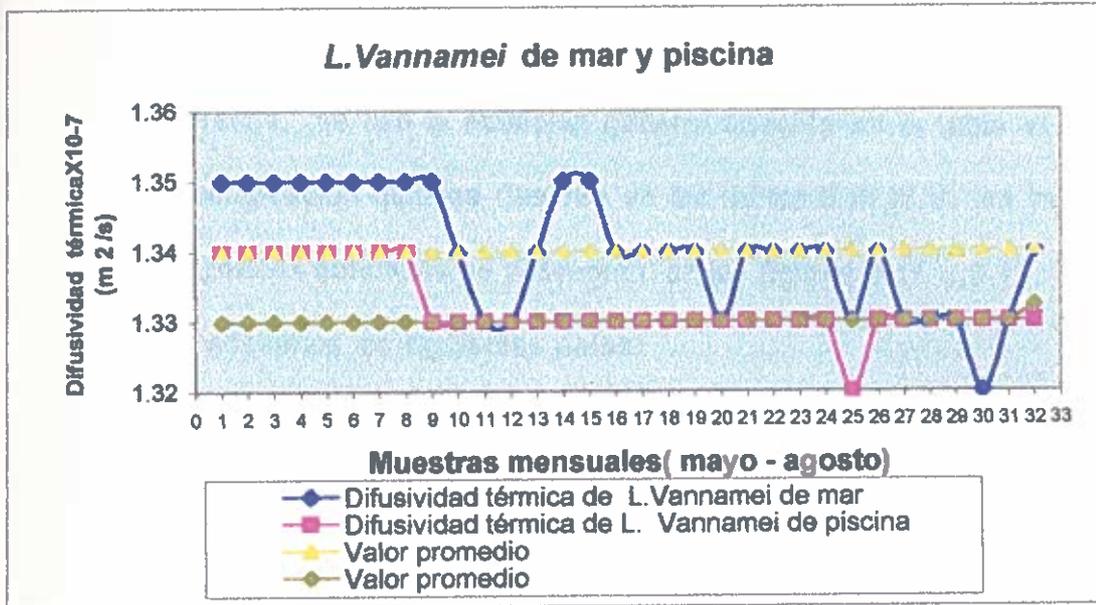
$$(X_C/\rho_C) = [ 0,0125/2417,06 ] / 6,512 \times 10^{-4} = 5,437 \times 10^{-3}$$

#### 4. Aplicación de la fórmula.

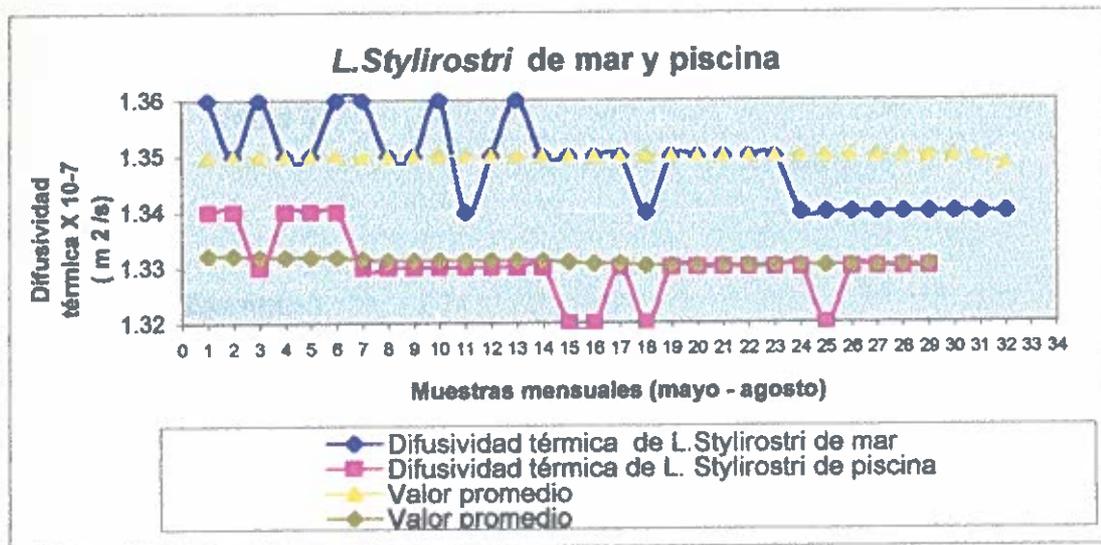
$$\alpha = 7,928 \times 10^{-8} ( 0,1512 ) + 9,5883 \times 10^{-9} ( 2,87 \times 10^{-3} ) + \\ 1,3286 \times 10^{-7} ( 5,437 \times 10^{-3} ) + 1,4529 \times 10^{-7} ( 0,8395 )$$

$$\alpha = 1,5 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

**VALORES DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA**



**FIGURA 2.9: Difusividad térmica teórica**



**FIGURA 2.10: Difusivida térmica teórica**

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

### 2.3.4 Conductividad térmica

Para calcular la conductividad teórica del músculo de camarón fresco, se usa la ecuación general descrita en la tabla VI, y la composición química descrita en las tablas II,III,IV,V, los valores teóricos obtenidos se presentan en las figuras 2.11 y 2.12. Son necesarios los siguientes datos:

1. El valor  $k_i$  a 24 °C, que se obtiene para cada componente del músculo de camarón: agua  $k_H$ , proteína  $k_p$ , grasa  $k_G$ , minerales  $k_C$ .
2. Calcular el valor  $X_{iv}$  de cada componente: agua  $X_{iH}$ , proteína  $X_{ip}$ , grasa  $X_{iG}$ , ceniza  $X_{iC}$ .
3. Aplicación de la fórmula para la conductividad térmica de la tabla VI.

#### Ejemplo:

**Cálculo 4: Cálculo teórico de conductividad térmica para músculo de camarón de mar *L. Vannamei*.**

$$k = \sum (K_i) (X_{iv}) \quad (3)$$

1. Calcular los valores  $k_i$  del agua, proteína, grasa y ceniza respectivamente.

$$K_H = 5,7109 \times 10^{-1} + 1,7625 \times 10^{-3}(24) - 6,7036 \times 10^{-6}(24)^2$$

$$K_H = 0,60952$$

$$k_P = 1,7881 \times 10^{-1} + 1,1958 \times 10^{-3}(24) - 2,7178 \times 10^{-6}(24)^2$$

$$k_P = 0,20594$$

$$k_G = 1,8071 \times 10^{-1} - 2,7604 \times 10^{-3}(24) - 1,7749 \times 10^{-7}(24)^2$$

$$k_G = 0,11435$$

$$k_C = 3,2962 \times 10^{-1} + 1,4011 \times 10^{-3}(24) - 2,9069 \times 10^{-6}(24)^2$$

$$k_C = 0,36157$$

### 3. Calcular el valor de $X_{iv}$ de los componentes

$X_{iv}$

$$X_{Hv} = [7,984 \times 10^{-4}] / 9,512 \times 10^{-4} = 0,8394$$

$$X_{Pv} = [1,4384 \times 10^{-4}] / 9,512 \times 10^{-4} = 0,1512$$

$$X_{Gv} = [2,73 \times 10^{-6}] / 9,512 \times 10^{-4} = 2,87 \times 10^{-3}$$

$$X_{Cv} = [5,047 \times 10^{-6}] / 9,512 \times 10^{-4} = 5,306 \times 10^{-3}$$

### 3. Aplicación de la fórmula:

$$k = 0,205(0,15122) + 0,114(2,870 \times 10^{-3}) + 0,2347(8,574 \times 10^{-4})$$

$$+ 0,3615(5,306 \times 10^{-3}) + 0,6095(0,8394)$$

$$k = 0,545 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

Conductividad térmica experimental a 24°C

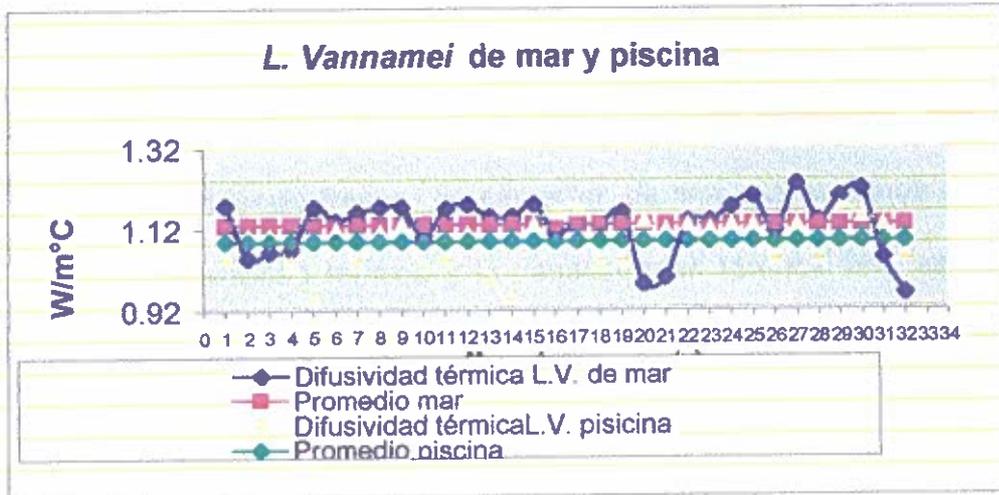


FIGURA 2.19: Valores de conductividad térmica *L. Vannamei*

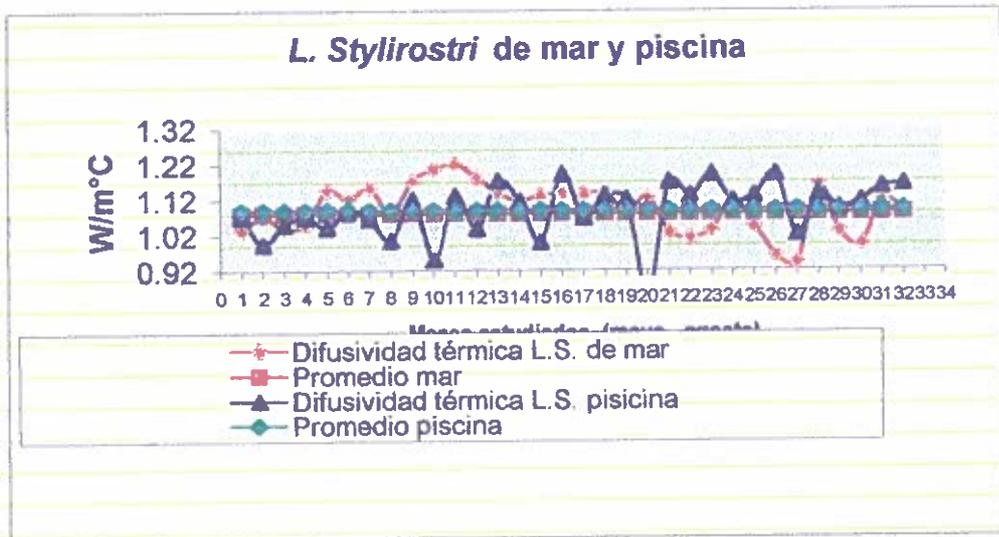


FIGURA 2.20: Valores de conductividad térmica *L. Stylirostri*

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

A continuación tenemos los resultados promedios mensuales de los valores de las propiedades teóricas a 24°C.

Se presentan valores de densidad y calor específico mayores en el músculo fresco de camarón de mar que en los de piscina. La difusividad térmica y la conductividad térmica son similares, tanto para el músculo de camarón de mar como para el de piscina.

**TABLA VII**  
**RESULTADOS TEÓRICOS PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL *L.vannamei* DE MAR.**

Meses	Densidad Kg/ m <sup>3</sup>	Calor Específico kJ/kg ° C	Difusividad Térmica m <sup>2</sup> / s	Conductividad Térmica W/m °C
Mayo	1061,43	3,68	1,35x10 <sup>-7</sup>	0.55
Junio	1063,60	3,66	1,34x10 <sup>-7</sup>	0.55
Julio	1060,86	3,67	1,34x10 <sup>-7</sup>	0.55
Agosto	1060,77	3,66	1,33x10 <sup>-7</sup>	0.54
Promedio	<b>1061,52</b>	<b>3,67</b>	<b>1,34x10<sup>-7</sup></b>	<b>0.55</b>

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

**TABLA XI**

**ECUACIONES PARA CALCULAR PROPIEDADES FISICAS**

**EXPERIMENTALMENTE**

PROPIEDAD FISICA	ECUACION
<b>DENSIDAD</b> ( kg/ m <sup>3</sup> )	$\rho = M / (V_f - V_o)$ (9)
<b>CALOR ESPECÍFICO</b> ( kJ/kg°C)	$C_p = (C_{p_a})(M_w)(T_i - T_o) / M_s (T_o - T_i)$ (1)
<b>DIFUSIVIDAD TÉRMICA</b> ( m <sup>2</sup> /s)	$\alpha = 0.3988 a^{2/f}$ (1)
<b>CONDUCTIVIDAD TÉRMICA</b> ( W/m°C)	$k = (\alpha)(\rho)(C_p)$ (1)

**2.4.1 Densidad**

La densidad de una sustancia sólida , en [kg/m<sup>3</sup>], se define como la masa de las partículas sólidas dividida entre el volumen de las partículas. (9)

### **Fundamento**

Las densidades de los sólidos pueden determinarse por el principio de flotación, utilizando líquidos de densidades conocidas. La temperatura del líquido debe ser igual a la del sólido.

### **Método**

El método para determinar la densidad se basa en el desplazamiento volumétrico.

### **Procedimiento**

La muestra fue pesada y medida su temperatura, se la introduce en una probeta que contiene 100 ml de agua destilada a la misma temperatura del músculo, se anota la variación de volúmenes, y se aplica la ecuación general para obtener el valor de la densidad presentada en la tabla XI. Todos los datos experimentales están descritos en las figuras 2.13 y 2.14, los resultados promedios mensuales se describen y comparan en el capítulo 3.

### **Ejemplo:**

**Cálculo 5:** Densidad experimental a 24 °C, en el músculo de

camarón *L. Vannamei* de mar .

$$\rho = M / (V_f - V_o) = \text{kg} / \text{m}^3 \quad (9)$$

**Datos:**

**M :** 8,2 g

**V<sub>o</sub>:** 30 ml

**V<sub>f</sub>:** 38 ml

$$\rho = 8,2 \text{ g} / (108 \text{ ml} - 100 \text{ ml}) (1.000,00)$$

$$\rho = 1025,01 \text{ Kg/m}^3$$

### Densidad experimental

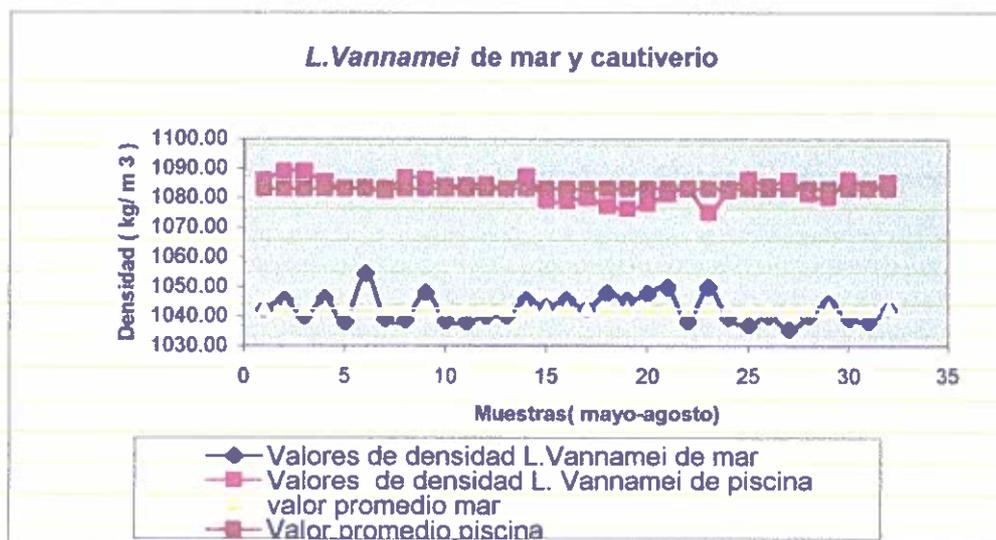


FIGURA 2.13: Valores de densidad experimental *L. Vannamei*

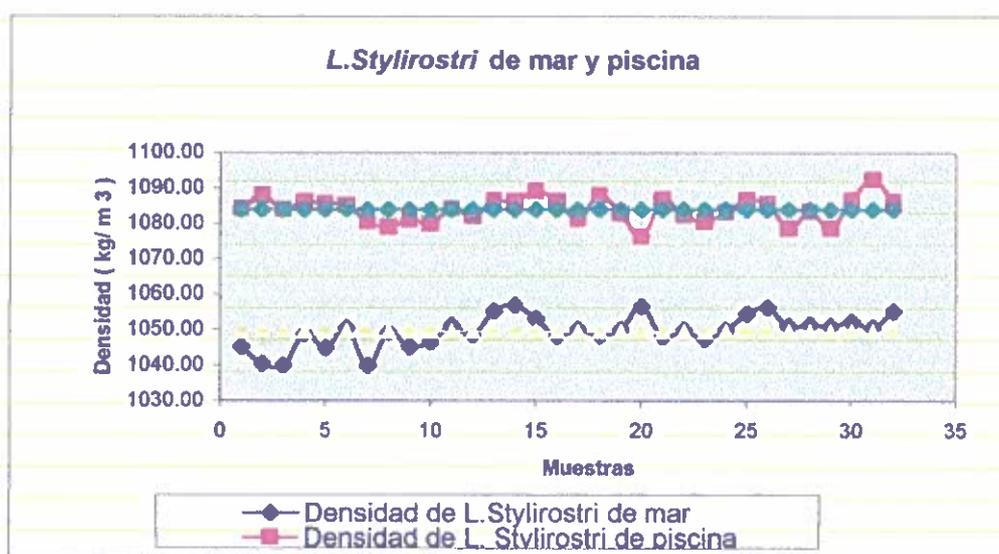


FIGURA 2.14: Valores de densidad experimental *L. Stylirostri*

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha : 11/07/2000

### 2.4.2 Calor específico

El calor específico de una sustancia es una medida de la cantidad de energía necesaria para elevar una unidad de temperatura la unidad de masa, por lo cual es dependiente de la temperatura. La unidad en el Sistema Internacional es  $J/ kg \text{ } ^\circ K$ .

#### Método

El calor específico ha sido determinado por el método de las mezclas y manteniendo las siguientes condiciones:

1. Calibración del calorímetro, mediante la determinación del calor específico del agua. ( ver cálculo 6)
2. Temperatura del agua caliente entre  $68.5 - 69.5 \text{ } ^\circ C$ .
3. Tiempo de contacto una hora.

#### Fundamento

Este método se basa en el principio de la igualdad de los intercambios caloríficos entre la muestra y un fluido a una temperatura conocida.

#### Procedimiento

Antes de comenzar la prueba, se va a determinar el calor

específico del agua, incorporando al calorímetro masas conocidas e iguales de agua destilada fría y caliente, tratando en lo posible que el sistema queda hermético, medir las temperaturas iniciales y de equilibrio respectivas. Aplicar la ecuación general de calor específico descrita en la tabla XI. Un esquema del calorímetro sugerido por Alvarado en su libro (1), se encuentra en el anexo I.

Para el músculo de camarón, colocar la masa conocida de muestra y agua destilada caliente en el calorímetro, registrar las temperaturas iniciales y la de equilibrio respectivamente, para calcular el calor específico de la muestra se usa la ecuación descrita en la tabla XI.

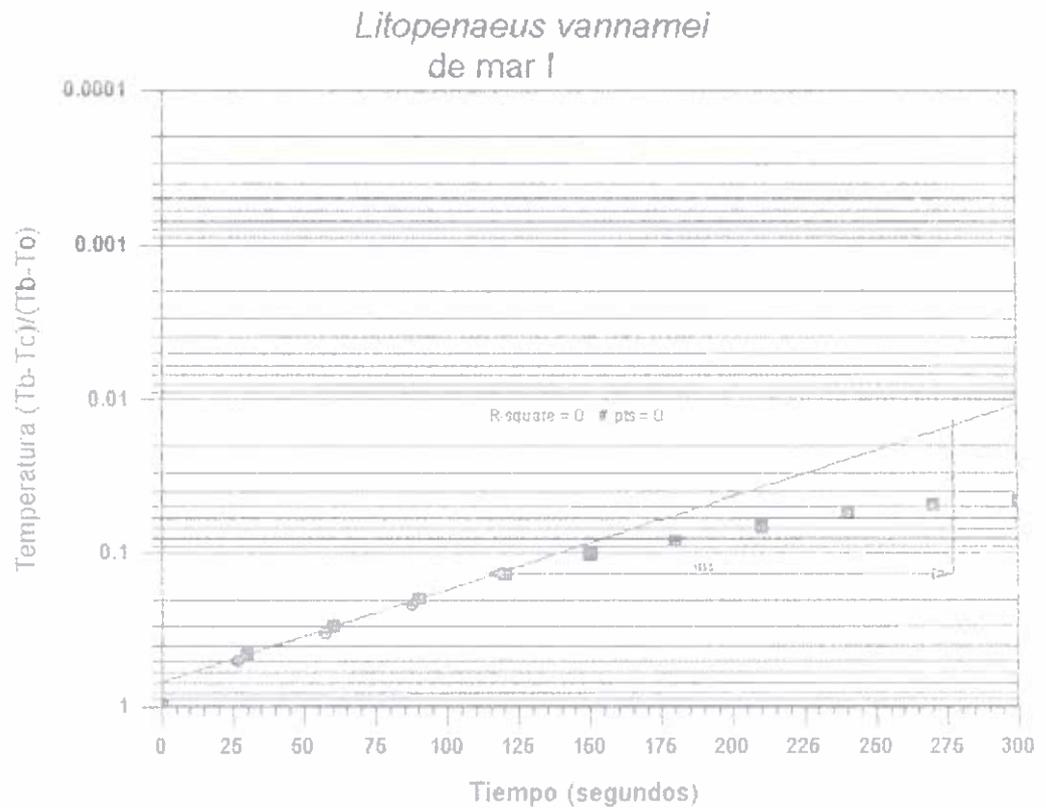
Todos los resultados experimentales se encuentran en las figuras 2.15 y 2.16, los promedios mensuales se encuentran descritos en el capítulo 3.

**Ejemplo:**

**Cálculo 6: Calor específico del agua**

$$C_p = (C_{p_a})(M_w)(T_i - T_o) / M_s (T_o - T_i) = \text{kJ/ kg } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

## GRAFICACIÓN DE HISTORIAS DE TEMPERATURA



Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/00

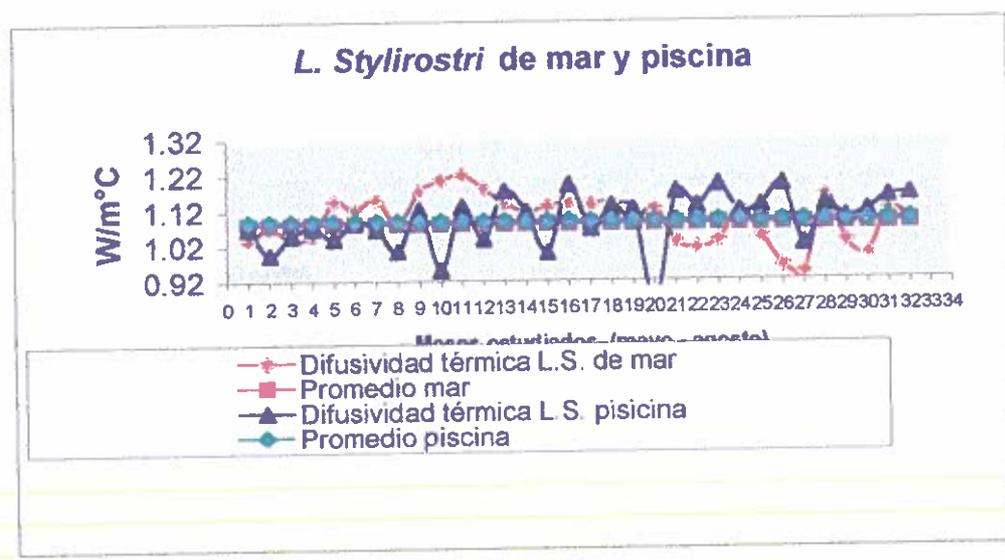
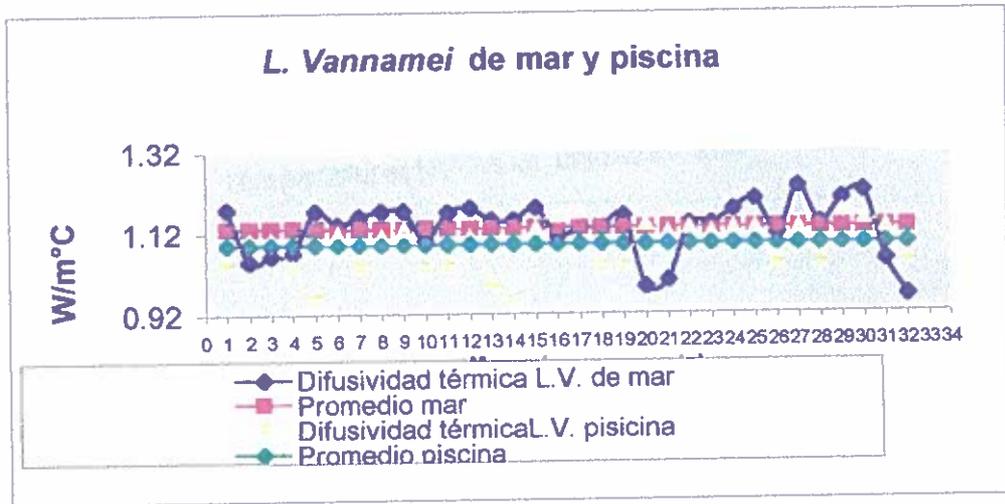
Factor de calentamiento determinado por la gráfica de penetración de calor :

$$f = 188,3 \text{ s}$$

$$\alpha = 0.3988 \cdot 0.00699^2 / 188.3$$

$$\alpha = 1.04 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

### Difusividad térmica experimental a 24°C



Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

### 2.4.4 Conductividad térmica

La conductividad térmica de un producto es una medida de la velocidad con la que el calor se transmite a través de una unidad de espesor dada, esto ocurre siempre y cuando exista un gradiente de temperatura(1). Sus unidades son  $J/s m \text{ } ^\circ C$  ó  $W /m \text{ } ^\circ C$ .

#### Fundamento

Cuando el calentamiento o enfriamiento de un cuerpo sólido se efectúa a expensas del calor ganado o perdido a través de su superficie, es proporcional al flujo de calor e inversamente proporcional a la conductividad térmica del material.

#### Procedimiento

Con los resultados de la densidad, calor específico, difusividad térmica, se calcula el valor de la conductividad térmica con la ecuación descrita en la tabla XI.

Los datos obtenidos están graficados en la figura 2.17 – 2.18 y los resultados promedios mensuales están descritos en el capítulo 3.

Ejemplo:

Cálculo 9: Valor de conductividad térmica para el músculo de camarón *L. Vannamei* de mar.

$$k = (\alpha)(\rho)(C_p) = \text{W/ m } ^\circ\text{C} \quad (1)$$

Datos

$$C_p = 3,68$$

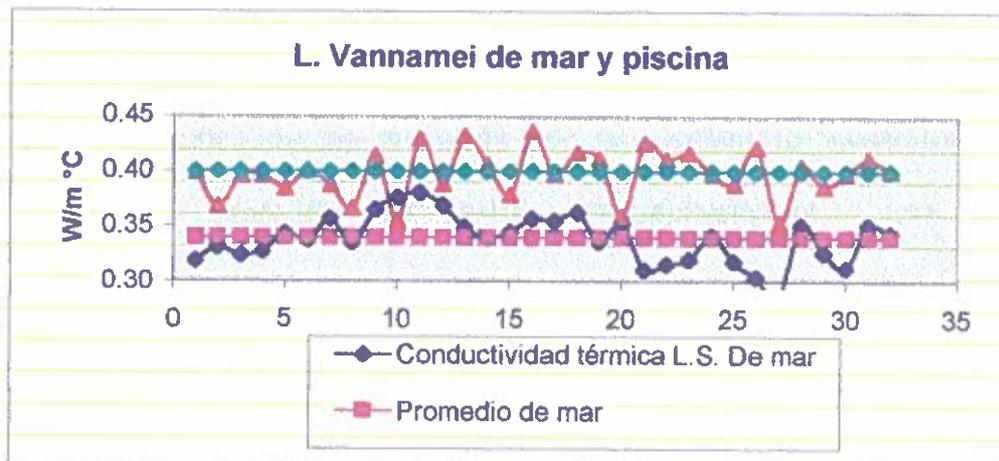
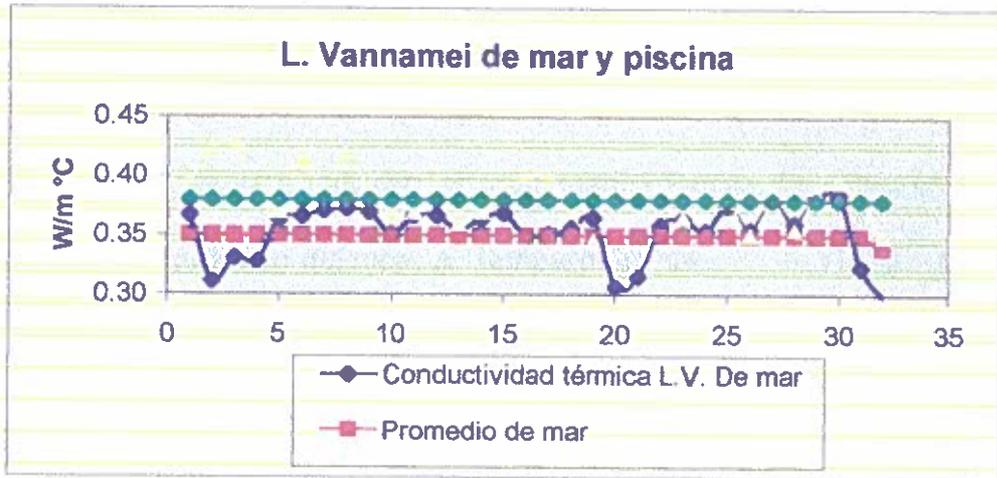
$$\alpha = 1,35 \times 10^{-7}$$

$$\rho = 1064,19$$

$$k = 3.68(1,35 \times 10^{-7})(1064,19)$$

$$k = 0.55 \text{ W/ m}^\circ\text{C}$$

### Conductividad térmica experimental a 24 °C



Elaborado por : Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

**2.5 Cálculo de las propiedades físicas teóricas con el modelo de Choi & Okos en productos congelados a temperatura de -18°C utilizando la composición química.**

Con las ecuaciones matemáticas de Choi & Okos, para alimentos congelados, se va a calcular las propiedades físicas del camarón a partir de su composición química, a temperatura de -18°C, para los diferentes meses analizados.

Estas ecuaciones resultaron de la experimentación sobre alimentos que poseen un contenido de sólidos entre el 10 - 60% en el rango de la temperatura de 0 a -40°C. Choi & Okos determinaron la densidad y el calor específico de las muestras con un picnómetro volumétrico y un calorímetro diferencial de rastreo, respectivamente. Los valores experimentales obtenidos fueron usados para desarrollar modelos matemáticos generales con las fracciones de los pesos de los componentes principales de los alimentos.

En general, los métodos o técnicas utilizadas para medir propiedades térmicas de alimentos congelados no son diferentes de métodos utilizados para alimentos no congelados, pero se debe conocer que en la difusividad es importante contar con que en el camarón existe una

LIBRARY  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY  
UNIVERSITY OF CALIFORNIA  
LIBRARY

fracción de agua no congelada basada en el peso molecular en una temperatura dada durante la congelación del alimento. Por lo tanto, las propiedades térmicas de diversos alimentos congelados pueden ser pronosticadas como función de la temperatura entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y el punto de congelación inicial del producto.

TABLA XII

DIFUSIVIDAD TERMICA A TEMPERATURA MENOR A  $0^{\circ}\text{C}$  (3)

$\alpha = \Sigma (\alpha_i X_i)$	
<b>FACTOR DE HUMEDAD</b>	$\text{FHD} = (W_{\text{agua}} \Sigma B e^A) / (1 - e^A)$ $A = [(232.600 W_{\text{agua}}) / 8.314] [1/t_0 - 1/t_i]$ $\Sigma B = B_P + B_G + B_C$ $B_P = X_P/W_P$ $B_G = X_G/W_G$ $B_C = X_C/W_C$
<b>FRACCION DE HIELO</b>	$\text{FHI} = X_H - \text{FHD}$

Donde:

$W_{\text{agua}}$  = peso molecular del agua (18 g)

$W_P$  = peso molecular de la proteína (300.000 g)

$W_G$  = peso molecular de la grasa (250 g)

$W_C$  = peso molecular de la ceniza (158.000 g)

### 2.5.1 Densidad

Para determinar la densidad teórica a  $-18^{\circ}\text{C}$  se utiliza la ecuación general descrita en la tabla VI, y la composición química promedio del músculo de camarón. Se necesitan conocer los siguientes valores:

1. El valor  $\rho_i$  a  $-18^{\circ}\text{C}$ , de cada uno de los componentes químicos, incluyendo la del hielo a partir de la ecuación propuesta por Choi & Okos.
2. El valor la fracción másica de cada uno de los componentes ( $X_i$ ) basados en su contenido nutricional: humedad  $X_H$ , proteína  $X_P$ , grasa  $X_G$ , y ceniza  $X_C$ .
3. Calcular la fracción  $X_i / \rho_i$  de cada uno de los componentes: agua  $X_H / \rho_{\text{hielo}}$ , proteína  $X_P / \rho_P$ , grasa  $X_G / \rho_G$ , y ceniza  $X_C / \rho_C$ .
4. Aplicar la ecuación general de la densidad descrita en la tabla VI. Ver los datos graficados en las figuras 2.21 y 2.22.

**Ejemplo:**

**Cálculo 10: Densidad teórica a  $-18^{\circ}\text{C}$  de camarón *L. Vannamei* de mar**

$$\rho^* = 1 / (\sum X_i / \rho_i) \quad (3)$$

1. El valor  $\rho_i$  del hielo, proteína, grasa y ceniza a  $-18^\circ\text{C}$ .

$$\rho_H = 916,89 + 0,13071 T = 919,242$$

$$\rho_P = 1,3299 \times 10^3 - 5,1840 \times 10^{-1}(-18) = 1339,231$$

$$\rho_G = 9,2559 \times 10^2 - 4,1757 \times 10^{-1}(-18) = 933,106$$

$$\rho_C = 2,4238 \times 10^3 - 2,8063 \times 10^{-1}(-18) = 2928,851$$

2. Fracción másica  $X_i$ : del agua  $X_a$ , proteína  $X_p$ , grasa  $X_g$ , y ceniza  $X_c$ , respectivamente.

$$X_H = 79,01/100 = 0,7901$$

$$X_P = 18,0 / 100 = 0,18$$

$$X_G = 0,42 / 100 = 0,0042$$

$$X_C = 1,05 / 100 = 0,0105$$

3. Fracción  $X_i / \rho_i$  del hielo  $X_H / \rho_H$ , proteína  $X_P / \rho_P$ , grasa  $X_G / \rho_G$ , y ceniza  $X_C / \rho_C$ , respectivamente

$$X_H / \rho_{\text{hielo}} = 0,7946/919,242 = 8,644 \times 10^{-4}$$

$$X_P / \rho_P = 0,1895/1339,231 = 1,4149 \times 10^{-4}$$

$$X_G / \rho_G = 0,0025/933,106 = 2,6792 \times 10^{-5}$$

$$X_C / \rho_C = 0,0125/2428,851 = 5,1465 \times 10^{-5}$$

4. Aplicación de la fórmula general.

$$\rho = 985.675 \text{ Kg/m}^3$$



### 2.5.2 Calor específico

Para determinar el calor específico teórico a  $-18^{\circ}\text{C}$  se utiliza la ecuación general descrita en la tabla VI, y la composición química del músculo de camarón de mar y cautiverio. Para ello se necesitan los siguientes valores:

1. El valor del calor específico de cada uno de los componentes  $C_{p_i}$  a  $-18^{\circ}\text{C}$  incluyendo la del hielo a partir de la ecuación propuesta por Choi & Okos.
2. El valor de la fracción másica de cada uno de los componentes  $X_i$ , basado en su contenido nutricional.
3. Calcular el valor  $(X_i)(C_{p_i})$  de cada componente y se aplica la ecuación general de la densidad descrita en la tabla VI.

#### Ejemplo:

**Cálculo 11: Calor específico teórico a  $-18^{\circ}\text{C}$ .**

$$C_{p^*} = \sum C_{p_i} ( X_i ) \quad (3)$$

1. Calcular  $C_{p_i}$  del hielo, proteína, grasa, y ceniza componentes a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

$$C_{p_H} = 2,0623 + 0.0060769 (-18) = 1,95292$$

$$C_{pP} = 2,0082 + 1,2089 \times 10^{-3}(-18) - 1,3129 \times 10^{-6}(-18)^2 = C_{pP}$$

$$= 1,98601$$

$$C_{pG} = 1,9842 + 1,4733 \times 10^{-3}(-18) - 4,8008 \times 10^{-6}(-18)^2 = C_{pG}$$

$$C_{pG} = 1,95613$$

$$C_{pC} = 1,0926 + 1,8896 \times 10^{-3}(-18) - 3,6817 \times 10^{-6}(-18)^2 = C_{pC}$$

$$C_{pC} = 1,057394$$

**2. Calcular la fracción másica  $X_i$  del agua  $X_a$ , proteína  $X_p$ , grasa  $X_g$ , y ceniza  $X_c$ , respectivamente.**

$$X_H = 79,01/100 = 0,7901$$

$$X_P = 18,0 / 100 = 0,18$$

$$X_G = 0,42/ 100 = 0,0042$$

$$X_C = 1,05/ 100 = 0,0105$$

**3. Aplicar la fórmula general**

$$C_p = 1,98601(0,1895) + 1,95613 (0,0025) + 1,057394 (0,0125)$$

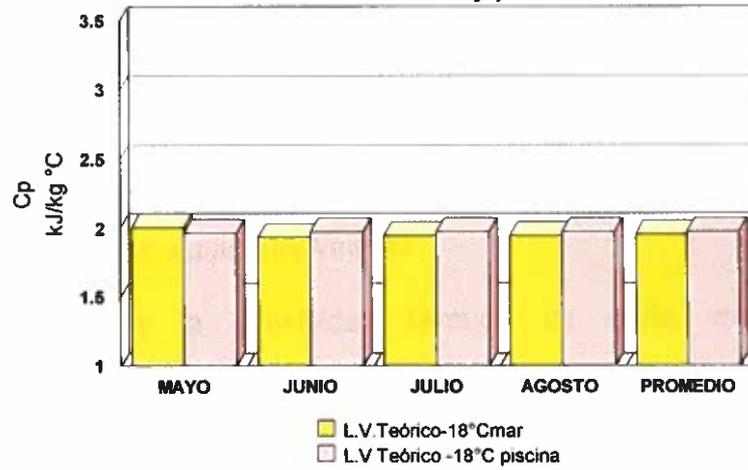
$$+ 1,95292 (0,7946) =$$

$$C_p = 1,953 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C}$$

Todos los valores obtenidos están graficados en las figuras 2.23 – 2.24 .

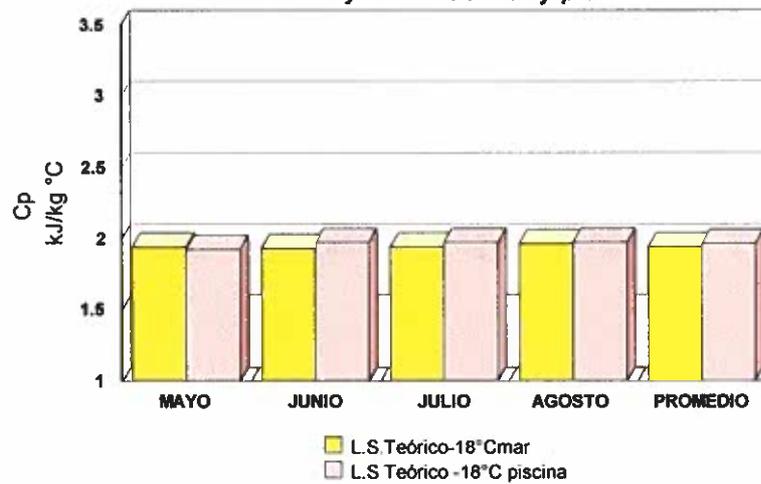
**Calor específico teórico a -18°C**

***L.Vannamei* de mar y piscina**



**FIGURA 2.23 Valores de calor específico**

***L.Stylirostri* de mar y piscina**



**FIGURA 2.24 Valores de calor específico**

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

### 2.5.3 Difusividad térmica

La ecuación de Choi & Okos para determinar la difusividad térmica y conductividad térmica a temperaturas menores a  $0^{\circ}\text{C}$ , considera la proporción de agua congelada y no congelada y el peso molecular promedio de los componentes químicos descritos en la tabla XII.

Se necesitan los siguientes valores:

1. El valor de la difusividad térmica de cada uno de los componentes ( $\alpha_i$ ) a  $-18^{\circ}\text{C}$  incluyendo la del hielo y agua
2. Calcular el factor de humedad y la fracción de hielo, descrita en la tabla XIV.
3. Sumar la fracción  $X_i/\rho_i$  de cada uno de los componentes incluyendo la proporción de agua congelada y no congelada.
4. Calcular el valor  $X_{iv}$  de cada uno de los componentes: Proteína, grasa, ceniza, carbohidrato, agua congelada y agua no congelada.
5. Aplicar la fórmula de la difusividad descrita en la tabla XIV.

Los valores obtenidos están graficados en las figuras 2.25 y 2.26.

**Ejemplo:**

**Cálculo 12: Difusividad térmica teórica del músculo de**

camarón de mar *L. vannamei* a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

1. Calcular  $\alpha_i$  de los componentes: hielo  $\alpha_{HI}$  agua  $\alpha_H$ , proteína

$\alpha_P$ , grasa  $\alpha_G$ , ceniza  $\alpha_C$ .

$$\alpha_{HI} = [1,1756 - 6,0833 \times 10^{-3}(-18) + 9,5037 \times 10^{-5}(-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_{HI} = 1,31589 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_H = [1,3168 \times 10^{-1} + 6,2477 \times 10^{-4}(-18) - 2,4022 \times 10^{-6}(-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_H = 1,19656 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_G = [0,877 \times 10^{-2} - 1,2569 \times 10^{-4}(-18) - 3,8286 \times 10^{-6}(-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_G = 6,3914 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_P = [6,871 \times 10^{-2} + 4,758 \times 10^{-4}(-18) - 1,4646 \times 10^{-6}(-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_P = 5,9675 \times 10^{-6}$$

$$\alpha_C = [1,2461 \times 10^{-1} + 3,732 \times 10^{-4}(-18) - 1,2244 \times 10^{-6}(-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_C = 1,1749 \times 10^{-7}$$

2. Cálculo del factor de humedad, según las ecuaciones de la

tabla XII.

$$T_0 = 273,2 + (-2,2) = 271^{\circ}\text{K}$$

$$T_i = 273,2 + (-18) = 255,2^{\circ}\text{K}$$

$$A = (232.600 \times 18/8314) (1/271 - 1/255,2) = -0,115048$$

$$BP = 0,1895/300.000 = 6,3167 \times 10^{-7}$$

$$BG = 0,0025/250 = 1 \times 10^{-9}$$

$$BC = 0,0125/158.000 = 7,91139 \times 10^{-8}$$

$$BCH = 0,0015/30.000 = 5 \times 10^{-8}$$

$$\Sigma B = 7,617839 \times 10^{-7}$$

$$FHD = [ 18 * (7,617839 \times 10^{-7}) * e^{-0,115048} ] / (1 - e^{-0,115048})$$

$$FHD = 1,12313 \times 10^{-4}$$

3. Cálculo de la fracción de hielo según las ecuaciones de la tabla XII.

$$FHI = 0,7946 - (1,12313 \times 10^{-4}) = 0,7944$$

4. Calcular el valor  $X_{iv}$  del hielo, agua, proteína, grasa, carbohidrato, ceniza.

$$X_{iv} = (x_i / \rho_i) / \Sigma (x_i / \rho_i)$$

a)  $X_i / \rho_i$  del agua libre, hielo, proteína, grasa, ceniza.

$$X_{\text{agua libre}} / \rho_{\text{agua libre}} = 0,79 - 0,794 / 996,01 = 2,00799 \times 10^{-7}$$

$$X_{\text{hielo}} / \rho_{\text{hielo}} = 0,7944 / 919,242 = 8,6419 \times 10^{-4}$$

$$X_P / \rho_P = 0,1895 / 1339,2312 = 1,41499 \times 10^{-4}$$

$$X_g / \rho_g = 0,0025 / 933,10626 = 2,6792 \times 10^{-6}$$

$$X_c / \rho_c = 0,0015 / 1604,68828 = 9,34761 \times 10^{-7}$$

b) Sumar las fracciones  $X_i / \rho_i$

$$\Sigma X_i / \rho_i = 1,0146506 \times 10^{-3}$$

5. Aplicar la fórmula Xiv

$$(X_{\text{agua libre}} / \rho_{\text{agua libre}}) / \Sigma X / \rho = 2,099 \times 10^{-7} / 1,0146506 \times 10^{-3}$$

$$(X_{\text{agua libre}} / \rho_{\text{agua libre}}) / \Sigma X / \rho = 1,9789 \times 10^{-4}$$

$$(X_{\text{hielo}} / \rho_{\text{hielo}}) / \Sigma X / \rho = 8,6419 \times 10^{-4} / 1,01466 \times 10^{-3} = 0,851712$$

$$(X_P / \rho_P) / \Sigma X / \rho = 1,41499 \times 10^{-4} / 1,0146506 \times 10^{-3} = 0,139456$$

$$(X_G / \rho_G) / \Sigma X / \rho = 2,672 \times 10^{-6} / 1,014656 \times 10^{-3} = 0,00264054$$

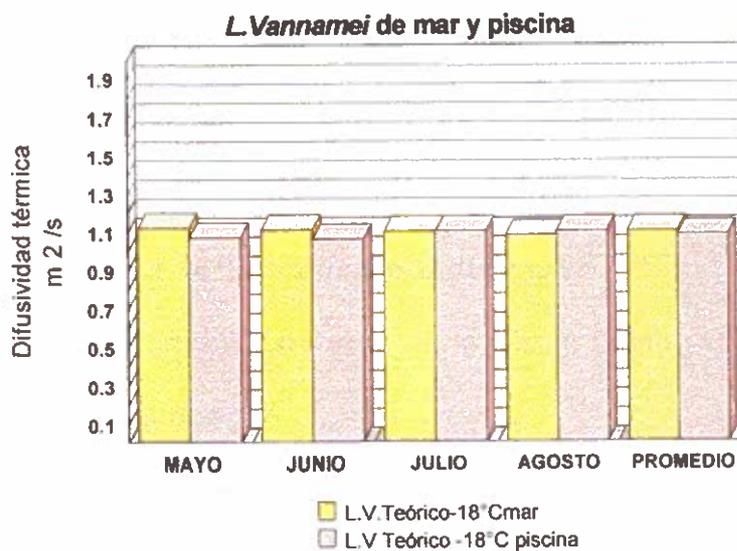
$$(X_C / \rho_C) / \Sigma X / \rho = 9,347 \times 10^{-7} / 1,01466 \times 10^{-3} = 9,21264 \times 10^{-4}$$

6. Aplicación la ecuación para la difusividad térmica según la tabla VI

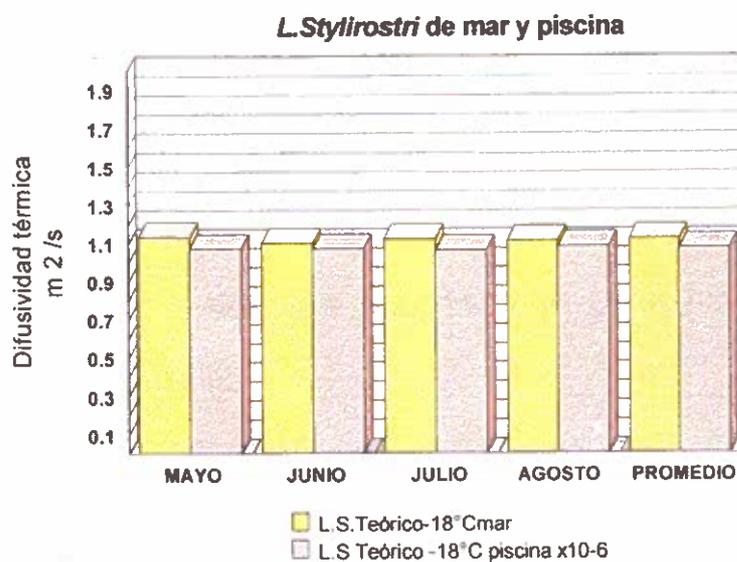
$$\begin{aligned} \Sigma \alpha_i &= (0,00019789)1,19656 + 0,851712(1,31589 \times 10^{-6}) + \\ &0,00264054(1,01027 \times 10^{-7}) + 0,139456(5,9675 \times 10^{-9}) + \\ &0,000921264(1,1749 \times 10^{-7}) + 0,00507215(7,054 \times 10^{-8}) = \end{aligned}$$

$$\Sigma \alpha_i = 1,1279 \times 10^{-6}$$

### Difusividad térmica teórica a $-18^{\circ}\text{C}$



**FIGURA 2.25** Valores de difusividad térmica



**FIGURA 2.26**

**Valores de difusividad térmica**

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

### 2.5.3 Conductividad térmica

Para calcular la conductividad térmica del músculo de camarón a  $-18^{\circ}\text{C}$ , se usa la ecuación detallada en la tabla XII. Para lo cual se necesitan los siguientes valores:

1. Calcular la conductividad térmica de cada uno de los componentes ( $K_i$ ) a  $24^{\circ}\text{C}$  incluyendo la del agua.
2. El valor  $X_{iv}$  se determina este valor de la misma forma que en el cálculo de la difusividad.
3. Aplicación de la fórmula de la conductividad térmica descrita en la tabla VI.

#### Ejemplo:

**Cálculo 13: Conductividad térmica del camarón de mar *L. Vannamei* a  $-18^{\circ}\text{C}$ .**

*Vannamei* a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

1. Cálculo del calor  $k_i$  del agua ( $k_H$ ), hielo ( $k_{HI}$ ), proteína ( $k_P$ ), grasa ( $k_G$ ), y ceniza ( $k_C$ ).

$$k_H = 5,7109 \times 10^{-1} + 1,7625 \times 10^{-3}(-18) - 6,7036 \times 10^{-5}(-18)^2 \quad k_H = 0,60498$$

$$k_{HI} = 2,2196 - 6,2489 \times 10^{-2}(-18) + 1,0154 \times 10^{-4}(-18)^2 = 2,3649$$

$$k_p = 1,7881 \times 10^{-1} + 1,1958 \times 10^{-3}(-18) - 2,7178 \times 10^{-6}(-18)^2$$

$$k_p = 0,1564$$

$$k_G = 1,8071 \times 10^{-1} - 2,7604 \times 10^{-3}(-18) - 1,7749 \times 10^{-7}(-18)^2$$

$$k_G = 0,2298$$

$$k_c = 3,2962 \times 10^{-1} + 1,4011 \times 10^{-3}(-18) - 2,9069 \times 10^{-6}(-18)^2 =$$

$$k_c = 0,30346$$

**2. Aplicación de la fórmula general de la tabla VI.**

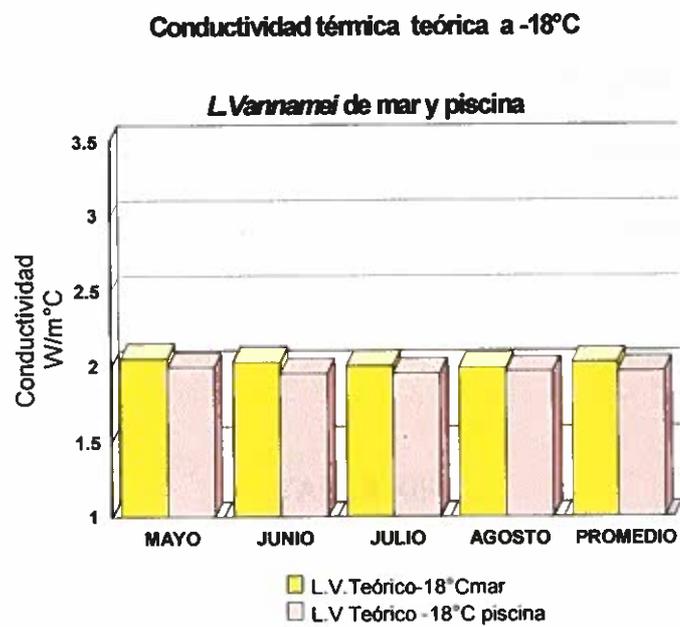
$$\begin{aligned} \Sigma k = & 0,60498 (1,9789 \times 10^{-4}) + 2,3649 (0,851712) + \\ & 0,1564(0,139456) + 0,2298 (2,64054 \times 10^{-3}) + 0,30346 ( \\ & 9,21264 \times 10^{-4}) + 0,17502 (5,07215 \times 10^{-3}) \end{aligned}$$

$$k = 2,04 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$$

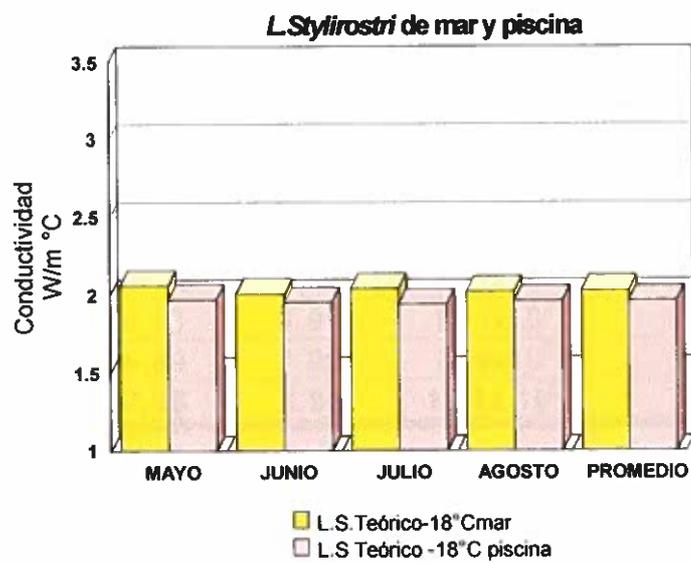
Todos los valores obtenidos están graficados en las figuras 2.27 -

2.28.





**FIGURA 2.27** Valores de conductividad térmica



**FIGURA 2.28** Valores de conductividad térmica

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

A continuación tenemos los promedios mensuales obtenidos a partir de los resultados teóricos, mediante el uso del programa realizado en Turbo Pascal presentado en el anexo F y G, a temperatura de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Los cuales presentan valores numéricamente similares, tanto para el camarón de mar como el de piscina.

**TABLA XIII**

**RESULTADOS TEÓRICOS PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL *L.Vannemel* DE MAR A  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .**

Meses	Densidad $\text{kg/m}^3$	Calor Específico $\text{KJ/kg } ^{\circ}\text{C}$	Difusividad Térmica $\text{m}^2/\text{s}$	Conductividad Térmica $\text{W/m } ^{\circ}\text{C}$
Mayo	997,50	1,95	$1,13 \times 10^6$	2,05
Junio	1000,38	1,93	$1,12 \times 10^6$	2,03
Julio	995,93	1,96	$1,11 \times 10^6$	2,00
Agosto	996,89	1,96	$1,09 \times 10^6$	1,99
<b>Promedio</b>	<b>997,68</b>	<b>1,95</b>	<b><math>1,11 \times 10^6</math></b>	<b>2,18</b>

Elaborado por: Carmen Llerena    Fecha: 11/07/2000

TABLA X IV

RESULTADOS TEÓRICOS PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE *L.stylirostris* DE MAR A  $-18^{\circ}\text{C}$

Meses	Densidad Kg/ m <sup>3</sup>	Calor Especifico KJ/kg ° C	Difusividad Térmica m <sup>2</sup> /s	Conductividad Térmica W/m °C
Mayo	994,07	1,93	1,14x10 <sup>6</sup>	2,06
Junio	997,28	1,93	1,11x10 <sup>6</sup>	2,01
Julio	995,29	2,04	1,13x10 <sup>6</sup>	2,04
Agosto	995,03	2,02	1,12x10 <sup>6</sup>	2,02
Promedio	996,11	1,98	1,13 x10 <sup>6</sup>	2,03

TABLA XV

RESULTADOS TEÓRICOS PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS *L. vannamei* DE CAUTIVERIO A  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Meses	Densidad kg/ m <sup>3</sup>	Calor Especifico KJ/kg ° C	Difusividad Térmica m <sup>2</sup> /s	Conductividad Térmica W/m °C
Mayo	990,19	1,97	1,10x10 <sup>6</sup>	1,99
Junio	995,24	1,97	1,07x10 <sup>6</sup>	1,95
Julio	995,10	1,97	1,07x10 <sup>6</sup>	1,95
Agosto	996,32	1,96	1,08x10 <sup>6</sup>	1,95
Promedio	994,21	1,97	1,08x10 <sup>6</sup>	1,96

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

TABLA XVI

RESULTADOS TEÓRICOS PROMEDIO DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE *L.styllirostri* DE CAUTIVERIO A -18 °C.

Meses	Densidad kg/ m <sup>3</sup>	Calor Específico KJ/kg ° C	Difusividad Térmica m <sup>2</sup> /s	Conductividad Térmica W/m °C
Mayo	995,52	1,96	1,08x106	1,97
Junio	993,78	1,97	1,08x106	1,95
Julio	996,08	1,97	1,07x106	1,94
Agosto	994,31	1,97	1,09x106	1,96
<b>Promedio</b>	<b>994,92</b>	<b>1,97</b>	<b>1.08x106</b>	<b>1,95</b>

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha:11/07/2000

## CAPÍTULO 3

### 3. Resultados teóricos y experimentales

#### 3.1 Elaboración de tablas de resultados teóricos y experimentales

En este capítulo se va a presentar las tablas de resultados promedios de los datos experimentales vs teóricos a 24 °C Y -18 °C, incluyendo los valores de desviación estándar (desv), que es una medida de dispersión entre los datos obtenidos durante nuestra investigación y el error estándar (error s) que es una medida de la variación no controlada que se presentan los se realizan pruebas experimentales en la población en estudio.

##### a) Densidad

Durante el estudio de la densidad en período mayo – agosto se obtuvieron los datos mostrados en las tablas XVII,XVIII,XIX,XX, a 24°C y -18°C.

*En esta tablas de resultados se incluye la determinación de la desviación estándar del un conjunto de observaciones, que es menor que 5, en todas las determinaciones, tanto teóricas como experimentales, lo que significa que a pesar que los datos son diferentes entre si, son confiables y el error estándar no excede a 2.*

Las fórmulas para el cálculo de la media aritmética, variancia, desviación estándar y error estándar (20), se pueden ver en el anexo H, y el ejemplo de cálculo de la variancia se presentan en el anexo J.



TABLA XVII

PROMEDIOS MENSUALES DE DENSIDAD ( $\text{kg/m}^3$ ) A 24 °C EXPERIMENTAL Y TEÓRICO EN EL

MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

Meses		Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus Vannamei</i> de mar.	Mayo	1.043,16	5,48	1,94	1.061,43	1,02	0,36
	Junio	1.042,52	3,69	1,31	1.063,60	1,03	1,07
	Julio	1.045,25	4,53	1,60	1.060,86	2,39	0,84
	Agosto	1.039,84	2,81	0,99	1060,77	0,37	0,13
	Promedio	1.042,69	4,12	1,38	1.061,52	1,70	0,60
Meses		Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus Vannamei</i> de Piscina.	Mayo	1.085,70	2,55	0,95	1.056,66	1,22	0,59
	Junio	1.083,46	3,00	1,60	1.057,01	4,33	0,82
	Julio	1.079,23	3,02	1,07	1.057,24	2,37	1,29
	Agosto	1.084,14	2,26	0,80	1059,51	2,33	0,48
	Promedio	1.083,13	2,70	1,11	1.057,57	2,56	0,80

Elaborado por: Carmen Llerena R.

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XVIII

PROMEDIOS MENSUALES DE DENSIDAD (kg/m<sup>3</sup>) A 24 °C EXPERIMENTAL Y TEÓRICO EN EL

MÚSCULO DE CAMARÓN *L.Stylosotri*.

Litopeneaus Stylosotri de mar.		Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
		Mayo	1.044,94	4,38	1,55	1.058,10	2,33	0,82
		Junio	1.050,65	4,20	1,49	1.068,32	3,65	1,29
		Julio	1.050,13	2,86	1,01	1.061,39	1,62	0,57
		Agosto	1.052,48	2,70	0,95	1059,49	3,20	1,13
		Promedio	1.049,39	3,61	1,28	1.061,68	2,70	0,95
Litopeneaus Stylosotri de piscina.		Meses	Experim.	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
		Mayo	1.084,13	2,95	1,04	1.056,97	1,22	0,59
		Junio	1.084,48	3,19	1,04	1.054,64	4,33	0,82
		Julio	1.082,68	3,62	1,13	1.057,71	2,37	1,29
		Agosto	1.084,79	4,59	1,28	1056,81	2,33	0,48
		Promedio	1.084,02	3,58	1,12	1.056,53	2,56	0,80

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XIX

PROMEDIOS MENSUALES DE DENSIDAD TEÓRICA (kg/m<sup>3</sup>) A 24 °C Y -18°C EN EL MÚSCULO

DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

	Meses	Teórico -18°C		Desv.*	Error S.	Teórico 24°C		Desv.**	Error S.
		Teórico	Desv.			Teórico	Desv.		
<i>Litopenaeus vannamei</i> de mar.	Mayo	997,50	0,04	0,04	0,01	1.061,43	1,02	1,02	0,36
	Junio	1.000,38	0,01	0,01	0,01	1.063,60	1,03	1,03	1,07
	Julio	995,93	0,01	0,01	0,01	1.060,86	2,39	2,39	0,84
	Agosto	996,89	0,01	0,01	0,01	1060,77	0,37	0,37	0,13
	Promedio	997,68	0,02	0,02	0,01	1.061,52	1,70	1,70	0,60
<i>Litopenaeus vannamei</i> de piscina.	Meses	Teórico -18°C	Desv.*	Desv.*	Error S.	Teórico 24°C	Desv.**	Desv.**	Error S.
	Mayo	990,19	1,83	1,83	0,25	1.056,66	1,22	1,22	0,59
	Junio	995,24	2,19	2,19	0,77	1.057,01	4,33	4,33	0,82
	Julio	995,10	1,20	1,20	0,42	1.057,24	2,37	2,37	1,29
	Agosto	996,32	0,13	0,13	0,04	1059,51	2,33	2,33	0,48
Promedio	994,21	1,34	1,34	0,37	1.057,57	2,56	2,56	0,80	

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.



TABLA XX

PROMEDIOS MENSUALES DE DENSIDAD TEÓRICA (kg/m<sup>3</sup>) A -18°C Y 24 °C EN EL MÚSCULO DE

CAMARÓN *L.Stylosotri*.

	Meses	Teórico		Error S.	Teórico 24 °C	Desv.**	Error S.
		-18 °C	Desv.*				
<i>Litopeneaus stylosotri</i> de mar.	Mayo	996,07	8,70	3,07	1.058,10	2,33	0,82
	Junio	997,73	2,74	0,97	1.068,32	3,65	1,29
	Julio	995,29	3,35	1,18	1.061,39	1,62	0,57
	Agosto	995,03	1,83	0,65	1059,49	3,20	1,13
	Promedio	996,03	4,15	1,46	1.061,68	2,70	0,95
	Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
	<i>Litopeneaus stylosotri</i> de piscina.						
	Mayo	995,52	3,54	1,25	1.056,97	1,22	0,59
	Junio	993,78	1,88	0,67	1.054,64	4,33	0,82
	Julio	996,08	1,21	0,43	1.057,71	2,37	1,29
	Agosto	994,31	0,90	0,32	1056,81	2,33	0,48
	Promedio	994,92	1,88	0,66	1.056,53	2,56	0,80

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

Promedios mensuales de densidad L. Vannamei de mar y piscina

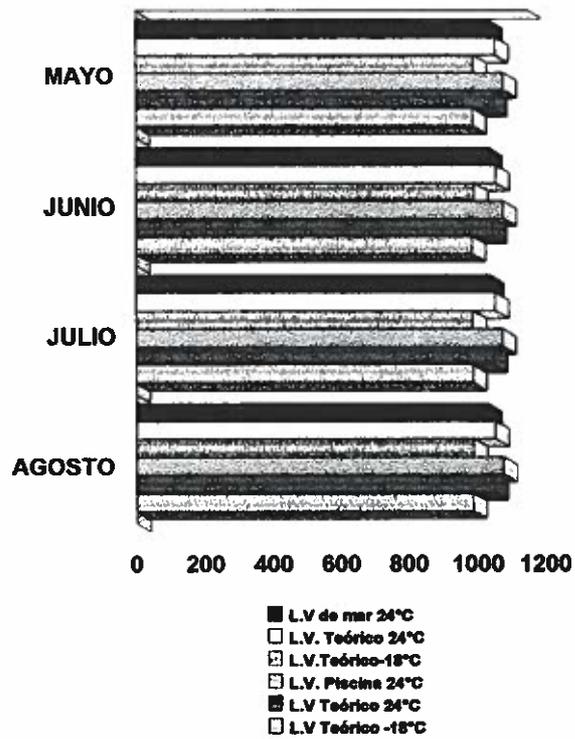


FIGURA 3.28: Comportamiento de la densidad

Elaborado por: Carmen Llerena  
 Fecha: 11/07/2000

Promedios mensuales de densidad L. Styfirostri de mar y piscina

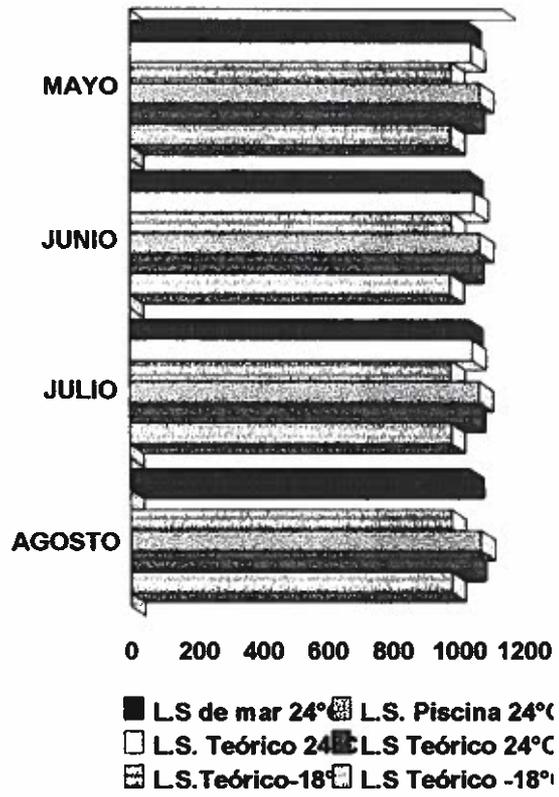


FIGURA 3.27: Comportamiento de la densidad

Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

## b) Calor específico

Los datos mostrados en las tablas XXI,XXII,XXIII,XIV, presentan los valores obtenidos durante la investigación, en donde se puede observar el porcentaje de variación al comparar los resultados experimentales vs teóricos a 24°C y los teóricos a 24 °C vs -18°C del músculo de camarón *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y de piscina.

En las tablas se incluyen los valores de la desviación estandar y del error estándar que para el calor específico no exceden a 1 (ver anexo H).

En la figura 3.29 -3.30 observamos los datos promedios mensuales del calor específico a las diferentes temperaturas.

TABLA XXI

PROMEDIOS MENSUALES DE CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg °C) A 24 °C EXPERIMENTAL Y

TEÓRICO EN EL MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.	
<i>Litopenaeus vannamei</i> de mar.	Mayo	3,00	0,04	0,02	3,68	0,03	0,01
	Junio	3,01	0,03	0,01	3,66	0,01	0,003
	Julio	3,00	0,05	0,02	3,67	0,01	0,002
	Agosto	3,01	0,03	0,01	3,66	0,01	0,001
	Promedio	3,01	0,04	0,02	3,67	0,02	0,004
Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.	
<i>Litopenaeus vannamei</i> de piscina.	Mayo	3,42	0,03	0,01	3,65	0,01	0,01
	Junio	3,23	0,03	0,01	3,64	0,002	0,01
	Julio	3,11	0,04	0,02	3,65	0,003	0,01
	Agosto	3,11	0,04	0,17	3,64	0,01	0,01
	Promedio	3,22	0,04	1,35	3,64	0,01	0,01

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXII

PROMEDIOS MENSUALES DE CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg °C) A 24 °C EXPERIMENTAL Y

TEÓRICO EN EL MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Stylirostri*.

Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus stylirostri</i> de mar.	Mayo	0,03	0,01	3,66	0,01	0,002
	Junio	0,03	0,01	3,65	0,01	0,01
	Julio	0,05	0,01	3,68	0,01	0,001
	Agosto	0,04	0,01	3,69	0,01	0,005
	Promedio	0,04	0,01	3,67	0,01	0,003
Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus stylirostri</i> de piscina.	Mayo	0,04	0,01	3,60	0,01	0,01
	Junio	0,05	0,01	3,65	0,002	0,001
	Julio	0,05	0,01	3,64	0,003	0,001
	Agosto	0,04	0,01	3,65	0,005	0,001
	Promedio	0,05	0,01	3,63	0,01	0,002

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXIII

PROMEDIOS MENSUALES DE CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg °C) A 24 °C Y -18°C EN EL MÚSCULO

DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

	Meses	Teórico	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
		-18°C			24°C		
<i>Litopenaeus vannamei</i> de mar.	Mayo	2,00	0,04	0,010	3,68	0,03	0,010
	Junio	1,93	0,01	0,001	3,66	0,01	0,003
	Julio	1,94	0,01	0,001	3,67	0,01	0,002
	Agosto	1,94	0,01	0,001	3,66	0,01	0,001
	Promedio	1,95	0,02	0,010	3,67	0,02	0,004
<i>Litopenaeus vannamei</i> de piscina.	Meses	Teórico	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
		-18°C			24°C		
	Mayo	1,96	0,010	0,001	3,65	0,010	0,01
	Junio	1,97	0,010	0,001	3,64	0,002	0,01
	Julio	1,97	0,001	0,001	3,65	0,003	0,01
	Agosto	1,97	0,001	0,001	3,64	0,010	0,01
Promedio	1,97	0,010	0,001	3,64	0,010	0,01	

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXIV  
**PROMEDIOS MENSUALES DE CALOR ESPECÍFICO (kJ/kg °C) A -18°C Y 24 °C EN EL MÚSCULO  
 DE CAMARÓN *L. Styllirostri*.**

Meses	Teórico	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
	-18 °C			24 °C		
<i>Litopenaeus styllirostri</i> de Mar.	1,94	0,010	0,010	3,66	2,33	0,82
	1,93	0,001	0,001	3,65	3,65	1,29
	1,94	0,010	0,001	3,68	1,62	0,57
	1,96	0,010	0,010	3,69	3,20	1,13
	1,94	0,007	0,007	3,67	2,70	0,95
Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus styllirostri</i> de Piscina.	1,92	0,010	0,001	3,60	0,01	0,01
	1,97	0,010	0,001	3,65	0,002	0,001
	1,97	0,010	0,001	3,64	0,003	0,001
	1,97	0,001	0,001	3,65	0,005	0,001
	1,96	0,010	0,001	3,63	0,01	0,002

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.  
 \*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

Promedios mensuales de calor específico L. Vannamel de mar y piscina

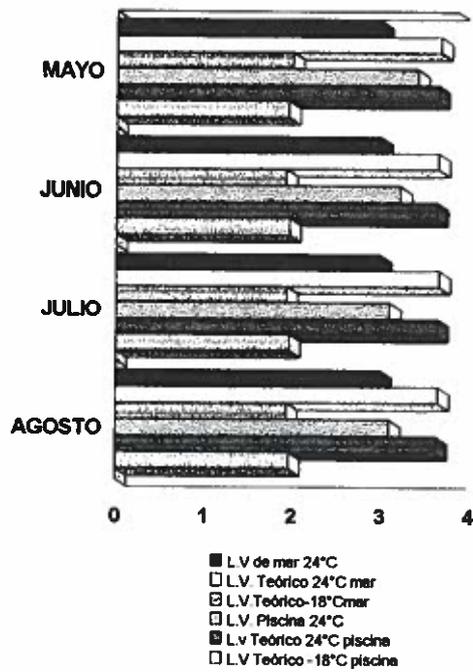


FIGURA 3.29: Comportamiento del calor específico

Elaborado por: Carmen Llerena  
Fecha: 11/07/2000

Promedios mensuales de calor específico *L. Stylirostrii* de mar y piscina

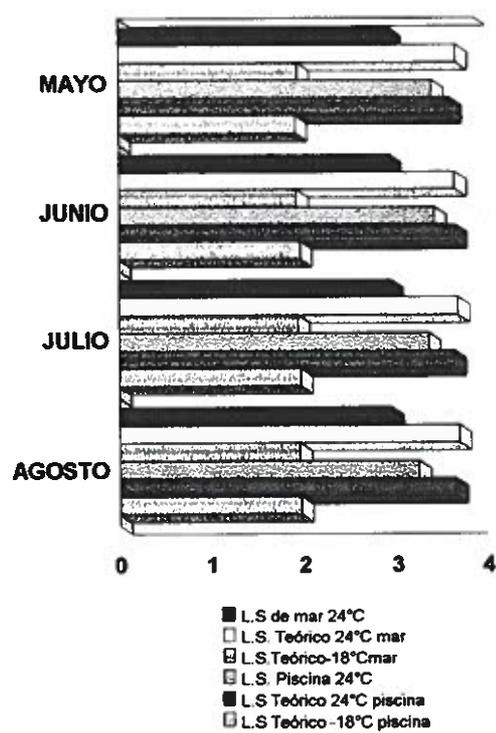


FIGURA 3.30: Comportamiento de l calor específico

Elaborado por: Carmen Llerena  
Fecha: 11/07/2000

TABLA XXVI  
 PROMEDIOS MENSUALES DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA (m<sup>2</sup>/s) A 24 °C EXPERIMENTAL Y  
 TEÓRICO EN EL MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Stylirostri*.

Meses	Experim. x 10 <sup>-7</sup>	Desv.* x 10 <sup>-9</sup>	Error S. x 10 <sup>-9</sup>	Teórico x 10 <sup>-7</sup>	Desv.** x 10 <sup>-9</sup>	Error S. x 10 <sup>-9</sup>
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de mar.	Mayo	1,09	4,66	1,65	1,36	1,50
	Junio	1,16	3,76	1,33	1,35	0,30
	Julio	1,08	5,45	1,93	1,35	1,00
	Agosto	1,04	8,14	2,88	1,34	0,35
	Promedio	1,09	5,50	1,78	1,35	0,79
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de piscina.	Mayo	1,05	3,33	1,18	1,34	0,50
	Junio	1,09	8,58	3,03	1,34	0,46
	Julio	1,10	1,05	3,07	1,34	0,46
	Agosto	1,12	2,64	1,82	1,34	0,52
	Promedio	1,09	3,90	2,28	1,34	0,49

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.  
 \*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXVII

PROMEDIOS MENSUALES DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA ( $m^2 / s$ ) TEÓRICA A 24 °C Y -18°C EN EL

MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

Meses	Teórico -18°C $\times 10^{-6}$	Desv.* $\times 10^{-9}$	Error S. $\times 10^{-9}$	Teórico 24°C $\times 10^{-7}$	Desv.** $\times 10^{-8}$	Error S. $\times 10^{-9}$
<i>Litopenaeus vannamei</i> de Mar.	Mayo	1,13	17,30	1,35	1,02	0,30
	Junio	1,12	7,50	1,34	0,10	0,60
	Julio	1,11	6,20	1,34	0,10	0,16
	Agosto	1,09	3,51	1,33	1,00	0,30
	Promedio	1,11	8,62	1,34	0,56	0,34
Meses	Teórico	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus vannamei</i> de piscina.	Mayo	1,10	5,86	2,07	1,00	0,35
	Junio	1,07	10,30	3,63	1,01	0,18
	Julio	1,07	2,95	1,04	1,00	0,10
	Agosto	1,08	4,90	1,73	1,01	0,50
	Promedio	1,08	6,00	2,11	1,01	0,28

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXVIII

PROMEDIOS MENSUALES DE DIFUSIVIDAD TÉRMICA ( $m^2 / s$ ) TEÓRICA A  $-18^{\circ}C$  Y  $24^{\circ}C$  EN EL

MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Stylirostri*.

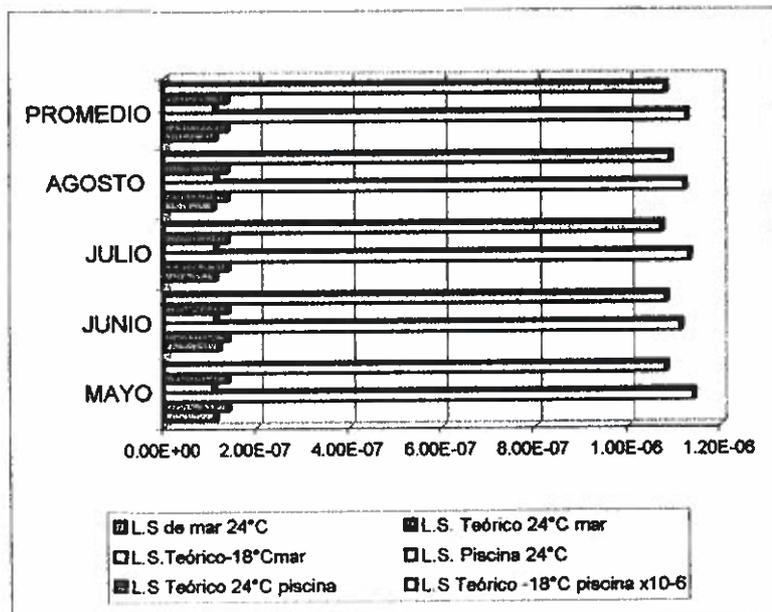
Meses	Teórico $-18^{\circ}C$ $\times 10^{-7}$	Desv.* $\times 10^{-9}$	Error S. $\times 10^{-9}$	Teórico $\times 10^{-7}$	Desv.** $\times 10^{-9}$	Error S. $\times 10^{-9}$
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de mar.	Mayo	1,14	4,66	1,36	1,50	1,00
	Junio	1,11	10,30	1,35	0,30	0,10
	Julio	1,13	6,00	1,35	1,00	0,16
	Agosto	1,12	3,51	1,34	0,35	0,10
	Promedio	1,13	7,49	1,35	0,79	0,34
Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de piscina.	Mayo	1,08	2,97	1,34	0,50	0,18
	Junio	1,08	8,58	1,42	0,46	0,10
	Julio	1,07	1,05	3,00	0,46	0,10
	Agosto	1,09	2,64	3,51	0,52	0,18
	Promedio	1,08	3,46	2,89	0,49	0,14

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

**Promedio mensual de difusividad térmica L. Stylirostri  
de mar y cautiverio.**



**Figura 3.32: Comportamiento de la difusividad**  
 Elaborado por: Carmen Llerena      Fecha: 11/07/2000

#### d) Conductividad térmica

La conductividad térmica fue medida a 24°C en forma experimental y también calculada teóricamente a 24°C y -18°C, usando las ecuaciones de Choi & Okos, los datos están mostrados en las tablas XXIX, XXX, XXXI, XXXII.

En estas tablas de resultados se incluye la determinación de la desviación estándar del conjunto de observaciones, que es menor de 1, en todas las determinaciones, tanto teóricas como experimentales.

Se observan los datos promedios mensuales en las figuras 3.33 y 3.34,

TABLA XXIX

PROMEDIOS MENSUALES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m°C) A 24 °C EXPERIMENTAL Y

TEÓRICO EN EL MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

Meses		Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus vannamei</i> de mar.	Mayo	0,36	0,07	0,02	0,55	0,010	0,005
	Junio	0,38	0,06	0,02	0,55	0,010	0,002
	Julio	0,34	0,06	0,02	0,55	0,001	0,002
	Agosto	0,41	0,05	0,02	0,54	0,003	0,001
	Promedio	0,37	0,06	0,02	0,55	0,006	0,003
Meses		Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
<i>Litopenaeus vannamei</i> de piscina.	Mayo	0,41	0,08	0,03	0,55	0,010	0,003
	Junio	0,36	0,06	0,02	0,54	0,013	0,005
	Julio	0,37	0,05	0,02	0,54	0,020	0,006
	Agosto	0,39	0,06	0,02	0,54	0,016	0,006
	Promedio	0,38	0,06	0,02	0,54	0,014	0,004

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXX

PROMEDIOS MENSUALES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m°C) A 24 °C EXPERIMENTAL Y

TEÓRICO EN EL MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Stylirostri*.

Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.	
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de mar.	Mayo	0,32	0,04	0,01	0,56	0,007	0,003
	Junio	0,37	0,06	0,01	0,54	0,001	0,010
	Julio	0,35	0,04	0,01	0,54	0,001	0,001
	Agosto	0,33	0,04	0,01	0,54	0,001	0,005
	Promedio	0,34	0,05	0,01	0,54	0,004	0,003
Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.	
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de piscina.	Mayo	0,41	0,08	0,03	0,54	0,010	0,003
	Junio	0,36	0,06	0,02	0,54	0,013	0,006
	Julio	0,37	0,05	0,02	0,54	0,015	0,005
	Agosto	0,39	0,06	0,02	0,54	0,016	0,006
	Promedio	0,38	0,06	0,02	0,54	0,014	0,005

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

TABLA XXXI

PROMEDIOS MENSUALES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m°C) A 24 °C Y -18°C EN EL

MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Vannamei*.

Meses	Teórico -18°C	Desv.*	Error S.	Teórico 24°C	Desv.**	Error S.
	<i>Litopenaeus vannamei</i> de mar.	2.05	0.03	0.010	0.55	0.010
Mayo	2.03	0.01	0.004	0.55	0.010	0.002
Junio	2.00	0.01	0.004	0.55	0.001	0.002
Julio	1.99	0.01	0.002	0.54	0.030	0.001
Agosto	2.02	0.02	0.005	0.55	0.005	0.003
Promedio						
Meses	Teórico	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.
	<i>Litopenaeus vannamei</i> de piscina.	1.99	0.010	0.003	0.55	0.010
Mayo	1.95	0.010	0.004	0.54	0.013	0.005
Junio	1.95	0.001	0.002	0.54	0.020	0.006
Julio	1.96	0.001	0.002	0.54	0.016	0.006
Agosto	1.97	0.010	0.003	0.54	0.014	0.004
Promedio						

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.  
 \*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.



TABLA XXXII

PROMEDIOS MENSUALES DE CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W/m°C) A -18°C Y 24 °C EN EL

MÚSCULO DE CAMARÓN *L. Stylirostri*.

Meses	Teórico	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.	
	-18 °C			24 °C			
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de Mar.	Mayo	2,06	0,010	0,003	0,56	0,007	0,003
	Junio	2,01	0,001	0,001	0,54	0,001	0,010
	Julio	2,04	0,010	0,004	0,54	0,001	0,001
	Agosto	2,02	0,010	0,002	0,54	0,001	0,005
	Promedio	2,03	0,007	0,003	0,54	0,004	0,003
Meses	Experim.	Desv.*	Error S.	Teórico	Desv.**	Error S.	
<i>Litopeneaus stylirostri</i> de Piscina.	Mayo	1,97	0,010	0,002	0,54	0,010	0,003
	Junio	1,95	0,010	0,002	0,54	0,013	0,006
	Julio	1,94	0,001	0,002	0,54	0,015	0,005
	Agosto	1,96	0,010	0,002	0,54	0,016	0,006
	Promedio	1,96	0,007	0,002	0,54	0,014	0,005

Elaborado por: Carmen Llerena

\* Desviación estándar a partir de la media experimental mensual.

\*\* Desviación estándar a partir de la media teórica mensual.

Promedios mensuales de conductividad térmica L. Vannemel de mar y piscina

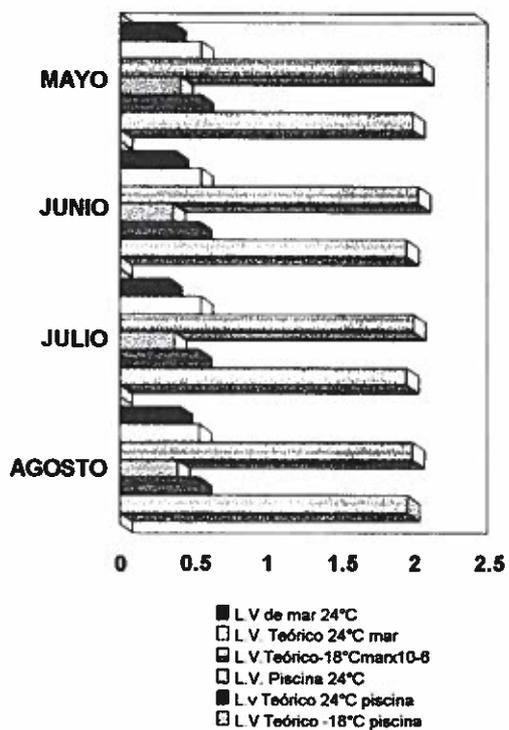


FIGURA 3.33: Comportamiento de la conductividad térmica

Elaborado por: Carmen Llerena  
Fecha: 11/07/2000

Promedios mensuales de conductividad térmica L. Stylirostri de mar y piscina

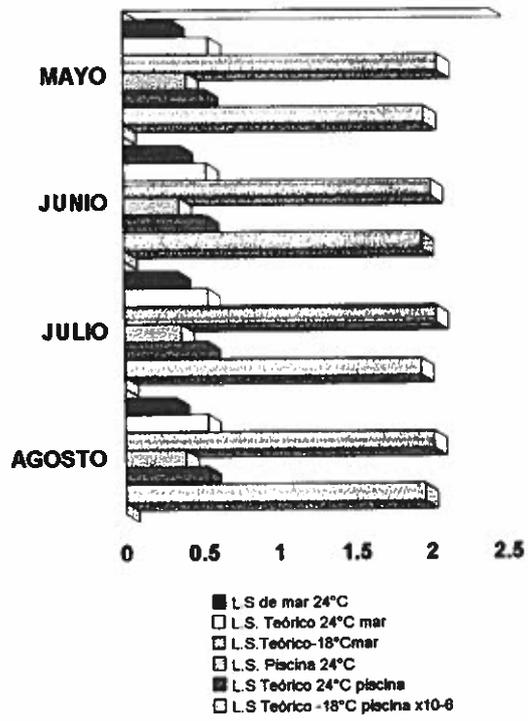


FIGURA 3.34: Comportamiento de l conductividad térmica

Elaborado por: Carmen Llerena  
Fecha: 11/07/2000

### **3.2 Comparación de los resultados teóricos y experimentales en producto fresco.**

Para las pruebas efectuadas en esta tesis, se partió de un muestreo aleatorio, en las dos épocas de cosecha mensual, denominado aguaje, que comprenden aproximadamente 5 a 6 días, por lo que se muestreó 4 días en la primera semana de cosecha y 4 días en la segunda. Una vez obtenidos, los datos experimentales, se procedió a compararlos con los resultados teóricos, mediante un análisis de varianza, cuyo ejemplo de cálculo se describe en el anexo J, y empleando los grados de libertad usando el anexo K, se obtiene las siguientes observaciones descritas para cada propiedad, a continuación.

Se van a considerar como tratamientos a las dos metodologías empleadas para la obtención de propiedades físicas de alimentos, esto es teórico y experimental. Los factores que van a estudiarse son las propiedades físicas: densidad, calor específico, conductividad térmica y difusividad térmica, durante el periodo mayo – agosto.

#### **3.2.1 Densidad**

Del análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales

del músculo de camarón de mar y piscina, *L. Vannamei* y *L. Stylirostri*, se evaluó la F crítica en base a los grados de libertad de nuestros datos que es de 2.67 y se comparó con la F experimental y se encontró:

1. Existe diferencia ( $P < 0,05$ ), entre los tratamientos, es decir entre los datos teóricos y experimentales del *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina estudiadas.
2. Existe diferencia ( $P < 0,05$ ) entre los meses, en las variedades *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina

A temperatura de 24 °C, los datos teóricos vs los experimentales en todas los meses analizadas y de los diferentes orígenes tienen un porcentaje de diferencia que no excede al 1 %, tanto para el *L. Vannamei* y *L. Stylirostri*, como se puede ver en el anexo V. Y al comparar los datos teóricos a 24°C y -18°C, observamos un porcentaje entre ellos de diferencia del 3%.

### 3.2.2 Calor específico

Para el análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales se determinó una F crítica es igual a 2.67 en

- Stylostris* y se encontró.
1. Existe diferencia ( $P < 0.05$ ), entre los tratamientos, en las variedades *L. Vannamei* y *L. Stylostris* de mar y piscina,
  2. Existe diferencia ( $P < 0.05$ ) entre los meses, en las variedades *L. Vannamei* de mar y piscina y *L. Stylostris* de mar y de piscina.

El porcentaje de diferencia de los datos teóricos vs experimentales a  $24^{\circ}\text{C}$ , en todos los meses analizados en el músculo del *L. Vannamei* y *L. Stylostris* especies analizadas no excede al 10%, y el porcentaje de variación de los datos teóricos a  $24^{\circ}\text{C}$  vs  $-18^{\circ}\text{C}$ , tiene un porcentaje de diferencia del 30% , por lo que podemos observar la gran influencia de la temperatura sobre esta propiedad.

### 3.2.3 Difusividad térmica

Para el análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales se calculó una F crítica de 2,67 en base a

los grados de libertad en el músculo de camarón de mar y piscina, *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* se encontró:

1. Existe diferencia ( $p < 0.05$ ), entre los tratamientos, en las variedades *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina,
2. No Existe diferencia ( $P < 0,05$ ) entre los meses, en las variedades *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y de piscina.

Al analizar el porcentaje de diferencia de los datos teóricos vs los experimentales a  $24^{\circ}\text{C}$ , del músculo de camarón de mar y piscina *L. Vannamei* y el *L. Stylirostri*, se observa que no excede al 10%. Y a medida que se congelada el agua contenda en el músculo se puede observar teóricamente como la difusividad aumenta, cuando congelamos el producto a  $-18^{\circ}\text{C}$ , encontrándose un porcentaje de diferencia del 70%, en esta propiedad se puede observar la gran influencia de la temperatura sobre la misma.

#### 3.2.4 Conductividad térmica

Del análisis de varianza, de los datos experimentales y teóricos en músculo de camarón de mar y piscina, se encontró:

1. Existe diferencia ( $P < 0.05$ ), entre los tratamientos, en las variedades *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina,
2. No existe diferencia ( $P < 0.05$ ) entre los meses, estudiados para las variedades *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina,

Los datos teóricos vs experimentales a  $24^{\circ}\text{C}$ , tienen porcentaje de diferencia en un máximo 19 % en el músculo del *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar, y 17% las mismas especies pero de origen de piscina. A medida que se congela el agua del músculo al bajar la temperatura a  $-18^{\circ}\text{C}$ , se incrementa el valor de la conductividad, y el porcentaje de diferencia es 58% en todas las especies analizadas.

TABLA XXXIII

Diferencia expresada en porcentaje de las propiedades físicas analizadas

Propiedades	A mar	B piscina	C mar	D piscina
Densidad	3 %	3%	1%	1%
Calor específico	30%	30%	10%	10%
Difusividad térmica	78%	78%	10%	10%
Conductividad térmica	57%	57%	19%	17%

A y B: Porcentaje de diferencia entre valores teóricos 24 y  $-18^{\circ}\text{C}$  para las especies *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina.

C y D : Porcentaje de diferencia entre los valores teóricos a  $24^{\circ}\text{C}$  vs los experimentales para las especies *L. Vannamei* y *L. Stylirostri* de mar y piscina.

## Capítulo 4

### 4. Aplicación de las propiedades físicas al proceso de congelación a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Los campos en los que el frío viene mostrando su utilidad, no se reducen a las aplicaciones de conservación de productos perecederos, existiendo una gran variedad en cuanto al alcance que hoy en día tienen las máquinas de producción de frío.

Los productos perecederos pueden seguir diversos tratamientos de conservación por frío, un alimento se define como congelado cuando la mayor parte de agua libre ha pasado a hielo. La tarea de la industria de alimenticia es aumentar el tiempo de conservación mediante tratamientos adecuados, para lo cual se hace necesario contar con datos precisos para

La evaluación de parámetros, que faciliten el desarrollo de un proceso. En este capítulo vamos a usar las propiedades físicas obtenidas en el capítulo anterior y aplicarlas a un proceso de congelación.

A diferencia de otros procedimientos, la conservación por el frío es el único capaz de conseguir que las características organolépticas como: el sabor natural, el olor y el aspecto de los productos apenas se diferencien del estado fresco.

El músculo de camarón está constituido, de una parte sólida, con una composición que varía dependiendo del origen del camarón como puede verse en el capítulo 2, y otra líquida, que se va congelando lentamente hasta alcanzar la temperatura de la cámara frigorífica de  $-18^{\circ}\text{C}$ , como puede verse en la figura 4.35.

La gráfica que nos representa como la parte líquida del músculo de va congelando lentamente, puede obtenerse mediante ecuaciones de Bartlett propuestas en el año de 1944.

Fenómeno de congelación del músculo de camarón.

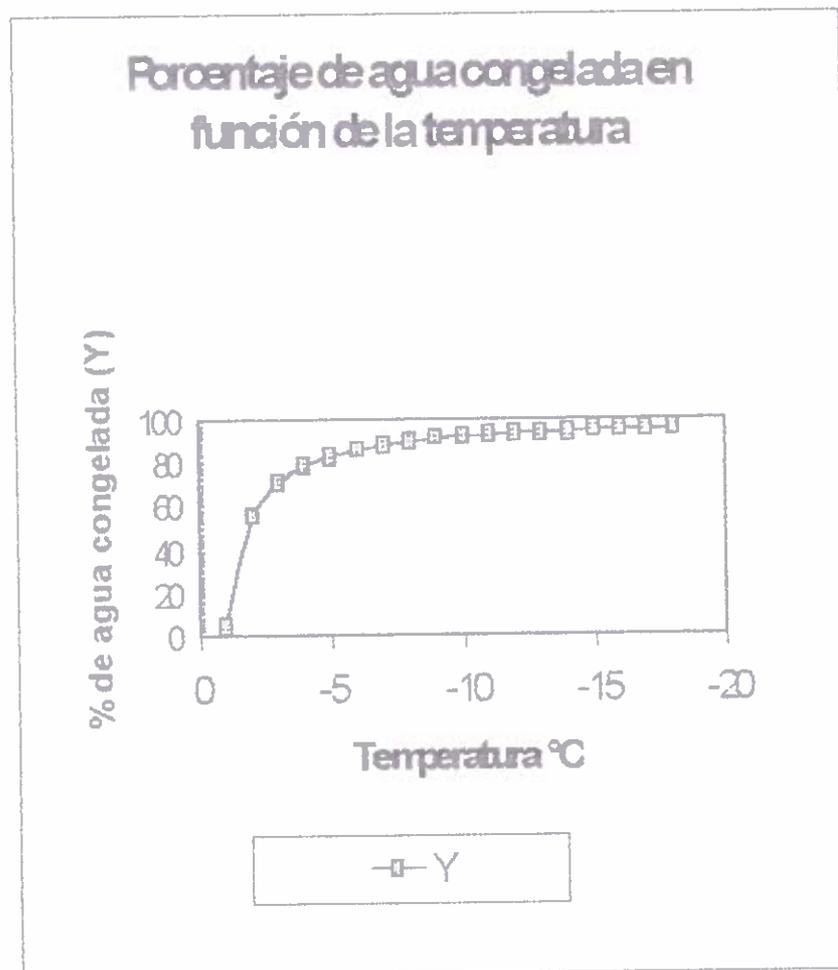


Figura 4.35: Porcentaje de agua congelada

Ver gráfico bibliográfico para otros alimentos en el anexo L.

Para el cálculo de carga térmica se necesita conocer datos del equipo y sus características constructivas. En esta tesis se va a considerar un congelador de tunel, ver la figura 4.36.

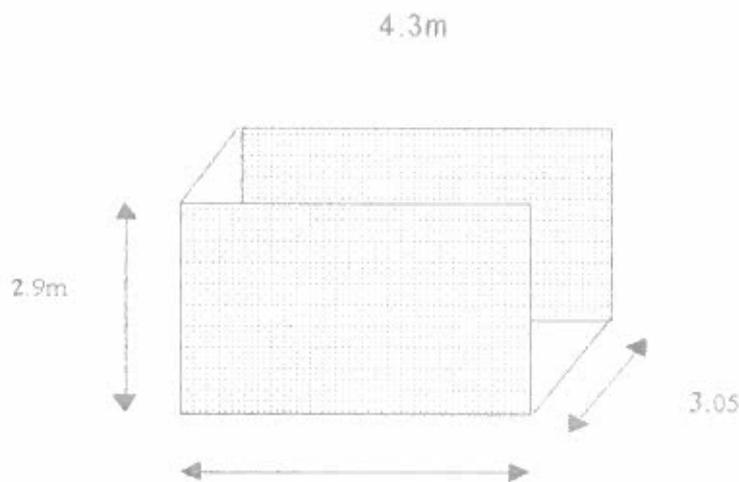


FIGURA 4.36: Dimensiones del congelador de tunel.

TABLA XXXIV

CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS

MATERIALES DE CONSTRUCCION	ESPESOR	K W / m°C
Mortero de cemento	0,02 m	0,930
Ladrillo	0,15 m	0,780
Mortero de cemento	0,01 m	0,930
Polieuretano	0,10 m	0,019
Plancha galvanizada	0,0007 m	12,79
Mortero de cemento (piso)	0,102	0,930

Las ecuaciones usadas para el cálculo de la carga térmica esta descrita en la tabla XXXV.

**TABLA XXXV**  
**FORMULAS PARA EL CALCULO DE LA CARGA TERMICA**

Aporte Interno (kJ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico para el producto</li> </ul>	$Q1 = m C_p (t_i - t_c) + m \lambda + m C_p (t_c - t_f)$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico de las bandejas</li> </ul>	$Q2 = m C_p (t_a - t_{fc})$
Aporte Externo (kJ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico de las paredes, piso y techo</li> </ul>	$Q3 = U (t_i - t_f) (S1 + S2 + S3)$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico de renovación de aire</li> </ul>	$Q4 = [N / (6 \times 3.600)] (V_{aire}) (\rho_{aire}) (h_e - h_i)$
Aporte Externo (kJ)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico del personal</li> </ul>	$Q5 = [(n_p) (T) Q_p] / (6 \times 3.600)$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico de la iluminación</li> </ul>	$Q6 = P (S)$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aporte calorífico de los motores</li> </ul>	Adicionar 10%

#### 4.1 Cálculo de la carga térmica a remover para congelar en forma individual músculo de camarón.

La repartición de la producción frigorífica diaria de la máquina puede ser descompuesta de la siguiente forma:

##### a) El aporte calorífico interno

###### Aporte calorífico del producto ( $Q_1$ )

Lo constituye la cantidad de calor involucrada en el enfriamiento de una masa dada de alimento desde una temperatura a otra, comprende aproximadamente tres fases:

- a. Calor sensible entre la temperatura inicial y la temperatura de congelación. Para este cálculo se usaron los datos de calor específico obtenidos en forma experimental.
- b. Calor latente de formación del hielo. Para este cálculo se usó el dato de calor latente bibliográfico (19).
- c. Calor sensible correspondiente al enfriamiento del hielo y de la parte no congelada hasta la temperatura final. Para este cálculo se usaron los datos teóricos obtenidos a  $-18^{\circ}\text{C}$ .

Podemos observar un gráfico donde se describe como varía la carga térmica cuando vamos a congelar camarón la figura 4. 37.

**Aporte calorífico de las bandejas y carros portabandejas (Q2)**

Para el cálculo de este aporte debe tomarse en cuenta el peso de las bandejas y de los carros, así como el calor específico de los mismos y usar el intervalo de temperatura del ambiente exterior (antecámara) y el interior de del tunel de congelación, que generalmente es  $-35^{\circ}\text{C}$ , la velocidad a la circula el aire en el tunel se obtuvo bibliográficamente ( 19) y es de 5 m/s. El peso de una parrilla de acero inoxidable perforada es de 3.6 kg, número de parrilla que tiene cada carro es de 10 y cada carro pesa 150 kg. Se introducen 15 carros en el tunel.

**b) Aporte calorífico externo****Aporte calorífico por las paredes, piso, y techo (Q3).**

Para el cálculo de este aporte se deberá tener en cuenta las dimensiones de las paredes, piso y tumbado, los espesores de los materiales de construcción del aislamiento como se puede ver en la tabla XXXIV y del revestimiento de cada una de las paredes, pisos y tumbados, Estos aportes caloríficos deben clacularse por separado usando la fórmula descrita en la tabla XXXV, su cálculo se indica a continuación:

**Pisos:**

La temperatura del piso se transfiere a través de las diferentes capas



POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.P.

y depende de la constitución que tenga la cámara (ver tabla XXXIV).

#### **Paredes:**

Su aporte calorífico dependería de lo que haya adyacente a la pared en este caso la antecámara y se debe considerar que está dentro de la planta. Su magnitud dependerá del tipo y espesor del aislamiento. (ver tabla XXXIV)

#### **Tumbado:**

Este aporte calorífico depende de si la cámara está dentro del galpón de la empacadora o fuera, para este caso vamos a considerar que está dentro del galpón. Su magnitud dependerá del tipo de aislamiento usado y su espesor. (ver tabla XXXIV).

#### **Enfriamiento del aire de renovación de las cámaras frigoríficas (Q4).**

Generalmente las puertas de las túneles de congelación se encuentran a una temperatura más alta que la del interior, por lo tanto, este dependerá del número de veces que se abran las puertas, para esta tesis se considera 2 veces durante el día y la cantidad de aire que entre a las cámaras esta dada por la ecuación de la tabla XXXV.

#### **Aporte calorífico debido a la circulación y el trabajo del personal (Q5).**

Generalmente los túneles solo se abren para cargar y descargar el producto, constituyendo esto un aporte de calor, por lo tanto, este dependerá del número de personas que se encuentren trabajando, para este caso se van a asumir 2 personas por un tiempo de una hora. Para el calor metabólico se asume el valor bibliográfico 420 W. (19)

#### **Aporte calórico por iluminación (Q6)**

Este aporte depende del número de focos, de su potencia en kW y del tiempo que permanezcan encendidos, este tiempo generalmente coincide con aquel que permanece el personal dentro del túnel, para esta tesis se va considerar una hora, y se va a utilizar el criterio de que se necesitan 24W por cada m<sup>2</sup>.

Tomando en cuenta todos estos datos podemos decir que el calor total a remover para congelar el músculo del camarón es la suma de todos los valores anteriormente calculados más un 10% que constituye el aporte calorífico de los motores de los ventiladores que contienen los túneles.

**Ejemplo:**

**Cálculo 14 : Estimación de la carga frigorífica para un congelador de túnel en kJ.**

---

**1. Aporte calorífico interno para:**

- |                      |               |
|----------------------|---------------|
| • Músculo de camarón | 343.077,89 kJ |
| Bandejas             | 19.873,73 kJ  |

---

**2. Aporte calorífico externo de: se consideran 6 horas de trabajo.**

- |                      |             |
|----------------------|-------------|
| • Pared              | 6.344,05 kJ |
| • Piso               | 3.262,57 kJ |
| • Tumbado            | 3.336,10 kJ |
| • Renovación de aire | 879,03 kJ   |
| • Personal           | 3.024,10 kJ |
| • Iluminación        | 1.080,10 kJ |
| • Motores            |             |

---

**Total de congelación** **377.541,44**

---

### Carga térmica a remover del músculo de camarón

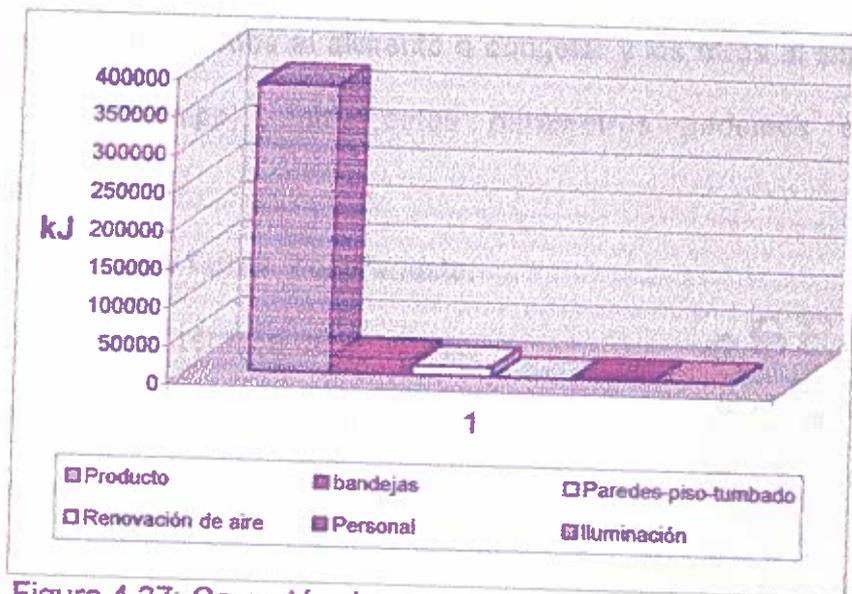


Figura 4.37: Carga térmica

Elaborado por : Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

#### 4.2 Cálculo del tiempo efectivo de congelación en el músculo del músculo de camarón sin empacar.

La duración del proceso de congelación depende de diferentes parámetros unos ligados al alimento a congelar y los otros al sistema de congelación (equipo), entre estos parámetros podemos citar los siguientes:

- a) Dimensiones y forma del producto.
- b) Conductividad térmica del producto.
- c) Temperatura inicial y final del producto.
- d) Temperatura del medio refrigerante.



El tiempo de congelación de un producto determinado puede ser establecido, experimentalmente tomando la temperatura del producto desde su valor inicial hasta un valor dado en su centro térmico y contabilizando el tiempo que transcurre. Para esto se efectuó una prueba en un congelador industrial ver en el anexo P la curva de congelación en un congelador industrial y la de un congelador doméstico en la figura 1.2. Las fórmulas usadas son las descritas por Plank y se describen en la tabla XXXVI.

TABLA XXXVI

## FORMULAS PARA EL CALCULO DEL TIEMPO DE CONGELACION

I. Tiempo de enfriamiento	$\tau_k = X^2/a (\ln \theta_a/\theta_k + \ln C)/\mu^2$
II. Tiempo de congelación	$\tau_{\text{cong}} = \lambda/\theta (h/2\alpha + h^2/8k)$
III. Tiempo efectivo de Congelación	$\tau_{\text{efectivo}} = 1,866 k n/a (\lg \theta/\theta_c - 0,0913)$ $(h/2\alpha + h^2/8K)$

Donde:

$t_o$  = temperatura de la cámara

$t_a$  = temperatura inicial del género

$t_k$  = temperatura interior del género

$$\theta_a = t_a - t_o$$

$$\theta_k = t_k - t_o$$

$\ln C$  ver en el anexo M

$\mu^2$  ver en el anexo N

n ver en el anexo O

**Ejemplo:**

**Cálculo 15: Estimación del tiempo de congelación para el músculo del camarón.**

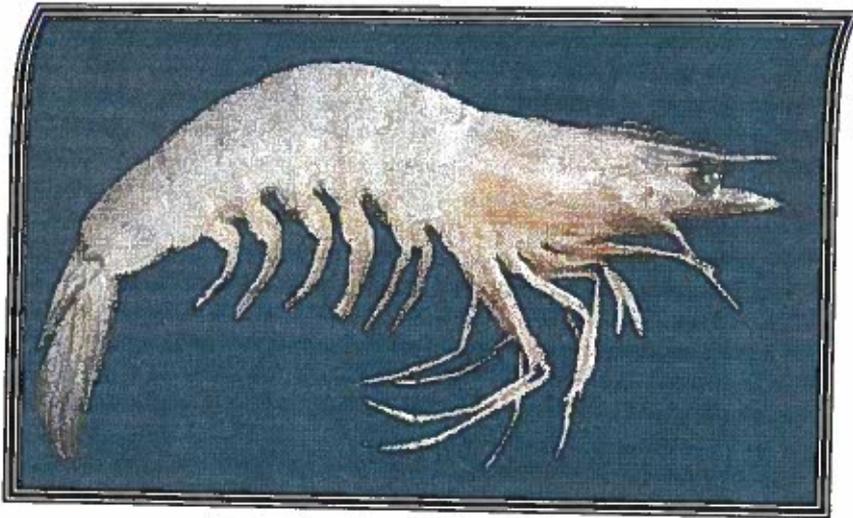
1.	Tiempo de enfriamiento	5,01 horas
2.	Tiempo de congelación	3,62 horas
3.	Tiempo efectivo de congelación	0,17 horas
4.	Tiempo de carga y descarga	0,30 horas
<b>TOTAL (horas)</b>		<b>9,00 horas</b>



# Anexo A

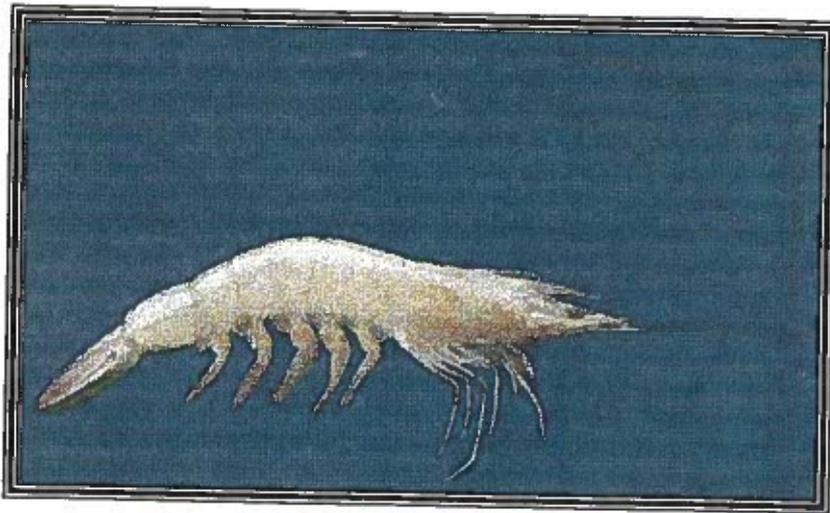
*Lstylirostri*

Foto # 1



*L. vannamei*

Foto #2



## Anexo B

### Determinación del contenido de humedad



#### Fundamento

Humedad es la pérdida de peso que sufre la muestra al someterla a temperaturas de 100 - 105 °C por un tiempo determinado. Es decir se produce la deshidratación de la muestra hasta peso constante.(2)

#### Métodos

1. Pesar 3 - 5 g de muestra previamente homogenizada.
2. Colocar en la cápsula tarada que contenga 2 - 3 g de arena de mar purificada y un agitador de vidrio.
3. Mezclar la muestra con arena.
4. Desecar la muestra en una estufa a 98 -100 °C por espacio de 4 horas.
5. Retirar el beacker de la estufa y enfriar en un desecador por espacio de 30 minutos.
6. Pesar en una balanza de precisión.

**Cálculos:**

(Peso de beacker + arena + agitador + muestra) – (peso de beaker +arena + agitador) = Peso real de la muestra

**% de Humedad = (Pérdida de peso de la Muestra) / (Peso real de la muestra) x 100**

---

El uso de arena de mar es el de permitir puntos focales de evaporación y disminuir la posibilidad de sobre calentamiento del material que puede desnaturalizarlo o alterarlo.

## Anexo C

### Determinación de proteínas brutas método Kjeldahl

#### Fundamento

Se basa en la conversión del nitrógeno orgánico en nitrógeno inorgánico, el sulfato de amonio formado durante la digestión, se diluye y se vuelve alcalino al agregarle hidróxido de sodio. El amoniaco, que queda en libertad se destila y es recibido en una cantidad conocida de solución de Ácido sulfúrico y se lo determina por titulación.(2)

#### Método:

1. En un balón de 600 - 800 ml de capacidad colocar 1 gr de muestra.
2. Adicionar 1 - 2 pastillas de Kjeldahl.
3. Adiciona 25 ml de ácido sulfúrico concentrado.
4. Digerir la muestra por espacio de 4 - 6 horas.
5. Dejar enfriar.
6. Agregar lentamente
7. 150 ml de agua destilada (hervida y fría)
8. Adicionar de 2 - 3 granallas de Zinc y 70 - 80 ml de hidróxido de sodio al

45,4% (Soda Kjeldahl).

9. Destilar por espacio de 20 – 25 minutos (es preciso recoger no menos de 150 ml de destilado).
10. Recibir el destilado en una fiola que contiene 100 ml de ácido sulfúrico 0.1 N con 2 a 3 gotas de indicador rojo de metilo.
10. Titular con hidróxido de sodio 0.1 N.

#### Cálculos:

$$\% \text{ Proteína} = [(\text{ml de H}_2\text{SO}_4 * f) - (\text{ml de NaOH} * f)] / \text{p.m.} * 0.87$$

p.m. = peso muestra

f = 6.25 Factor

#### Reactivos

Ácido sulfúrico concentrado y 0.1 N

Hidróxido de sodio al 45.4 % y 0.1 N

Pastillas Kjeldahl ó sulfato de sodio + sulfato de cobre

Granallas de zinc

Indicador rojo de metilo



Se recomienda medir con precisión el ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 0.1 N usar pipeta volumétrica. Es necesario que la punta del refrigerante penetre en la disolución de ácido contenido en el erlenmeyer.

## Anexo D

### Determinación de grasas

#### Fundamento

El término extracto etéreo se refiere al conjunto de sustancias grasa extraídas con éter etílico. Incluye además de los ésteres de los ácidos grasos con el glicerol, a los fosfolípidos, lecitinas, esteroides, ceras y ácidos grasos libres.(2)

#### Método

1. Pesar con exactitud 5 g de muestra ( proveniente de la humedad).
2. Colocar en un mortero.
3. 10 g de fosfato de sodio dibásico (  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  ).
4. Mezclar con el fin de obtener la fusión de la muestra con la sustancia.
5. Pasar el polvo por el dedal.
6. Colocar un trozo de algodón como tapón.
7. Extraer la grasa en el extractor Soxhlet por espacio de 4 - 6 horas.
8. Recibir el extracto etéreo y grasa en un balón de 20 ml (previamente tarado y pesado) que contenga en su interior 2 a 3 perlas de vidrio.
9. Recuperar el éter y evaporar el remanente que queda con la grasa.

10. Desechar el residuo contenido en el balón en una estufa a 100 °C por espacio de 30 minutos.

11. Enfriar el balón en un desecador 15 minutos.

12. Pesar en balanza de precisión.

### Cálculos

(Peso del dedal + muestra - peso del dedal (poroso)) = Peso real de la muestra

(Peso del balón + grasa (4-6 h) - peso del balón (tarado)) = Peso de la grasa

**% de grasa =  $\frac{\text{Peso de la grasa}}{\text{Peso real de la muestra}} \times 100$**

---

Se recomienda usar arena, debido a que las muestras de carne de camarón se contraen al desecarse y forma masas duras y compactas difíciles de penetrar por el éter etílico, haciéndose necesario el uso de una sustancia desecante como arena o fosfato de sodio.

## Anexo E

### Determinación de cenizas totales

#### Fundamento

Las cenizas son el residuo obtenido después de incinerar la muestra. Todos los alimentos contienen elementos minerales formando parte de compuestos orgánicos e inorgánicos, es muy difícil determinarlos tal como se presentan en los alimentos por lo cual se recurre a la incineración que destruye la materia orgánica y cambia en muchos casos el estado químico de los minerales. (2)

#### Métodos

1. Pesar con precisión una cantidad equivalente a 2 – 5 g de muestra en un crisol de porcelana provisto de tapa (previamente tarado y pesado).
2. Colocar en una estufa con el fin de quemar lentamente la muestra antes de colocarla en la mufla.
3. Colocar en la mufla a temperaturas que fluctúen entre 600 – 800 °C.
4. Incinerar hasta que las cenizas adquieran un color blanco grisáceo (4 - 5 horas aproximadamente).

5. Apagar la mufla y dejar que la temperatura interior baje.
6. Pasar el crisol y su contenido directamente a un desecador ( más o menos por espacio de  $\frac{1}{2}$  - 1 h ).
7. Pesar usando balanza de precisión.

### Cálculos

(Peso de crisol + muestra - Peso de crisol vacío ( con o sin tapa)) = Peso real de la muestra.

(Peso de crisol + muestra( 600-800°) - Peso de crisol vacío ( con o sin tapa)) = Peso de la cenizas.

$$\% \text{ de Cenizas} = (\text{Peso de cenizas} - \text{peso real de la muestra}) \times 100$$

---

Se recomienda elevar la temperatura de la mufla lentamente hasta alcanzar la de incineración sin que se formen llamas ya que una combustión demasiado activa puede ocasionar pérdida de sustancias o cenizas o conducir a que se formen inclusiones de carbono que no se incineren.

## Anexo F

### Programa Turbo Pascal

```
Program CHOIKOS;  
uses crt,interfaz;
```

```
var
```

```
  sn, salir      : char;  
  H,p,g,c,f,ce   : real;  
  FH,Fp,Fg,Fc,Ff,Fce : real;  
  MH,Mp,Mg,Mc,Mf,Mce : real;  
  KH,KHI,Kp,Kg,Kc,Kf,Kce : real;  
  DIFH,DIFHI,difp,difg,difc,diff,difce : real;  
  DENH,DENHI,DENp,DENg,DENc,DENf,DENce : real;  
  CPH,CPHI,cpp,cpg,cpc,cpf,cpce : real;  
  FVA,FVHI,FVp,FVg,FVc,FVf,FVce : real;
```

```
  SUMD,dif              : real;  
  denal,cpal,difal,kal  : real;  
  T,T0,Ti,Tc           : real;  
  m,A                  : real;  
  b,b1,b2,b3,b4,BT     : real;  
  FHD,FHI              : real;
```

```
begin
```

```
  textcolor(WHITE);textbackground(BLACK);  
  fillp(0,0,80,24,chr(178));  
  textcolor(BLACK);textbackground(WHITE);  
  cuadro_remark(10,6,70,16,true);  
  centra('INGENIERIA DE PROCESOS',8);  
  centra('CALCULO DE PROPIEDADES FISICAS DE ALIMENTOS',10);  
  centra('MODELO DE CHOI Y OKOS',13);  
  readkey;  
  repeat  
  repeat  
    textcolor(WHITE);textbackground(BLACK);  
    fillp(0,0,80,24,chr(178));  
  
    textcolor(BLACK);textbackground(WHITE);  
    cuadro_remark(7,3,73,5,true);  
    centra('CALCULO DE PROPIEDADES TERMICAS DE ALIMENTOS',4);
```

## Anexo G

### Pantallas que presenta el programa

#### Pantalla # 1

Ingrese los datos de la composición química proximal.

CALCULO DE PROPIEDADES TERMICAS DE ALIMENTOS	
INGRESE LA COMPOSICION EN PORCENTAJE	
HUMEDAD	%
PROTEINA	78.74
GRASA	19.98
CARBOHIDRATOS	1.04
FIBRA	0
CENIZAS	0
	1.03
CORREGIR (S/N)	
Ingrese la temperatura : 24 °C	

#### Pantalla # 2

RESULTADOS			
Densidad	=	1043.101	Kg/m <sup>3</sup>
CALOR ESPECIFICO	=	3.729	KJ/Kg°C
DIFUSIVIDAD TERMICA	=	1.3398215773E-07	m <sup>2</sup> /s
CONDUCTIVIDAD TERMICA	=	0.545	W/m°C
SALIR	= 1	INICIO	= 2
		IMPRIMIR	= 3

## Anexo H

**Fórmulas estadísticas usadas para el cálculo de media aritmética, desviación estándar, error estándar y análisis de la variancia de las muestras estudiadas.**

### 1. Media muestral (10)

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{n}$$

### 2. Variancia muestral (10)

$$S^2 = \frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}$$

### 3. Desviación estándar muestral (10)

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$\bar{X}$  : Media de la muestra.

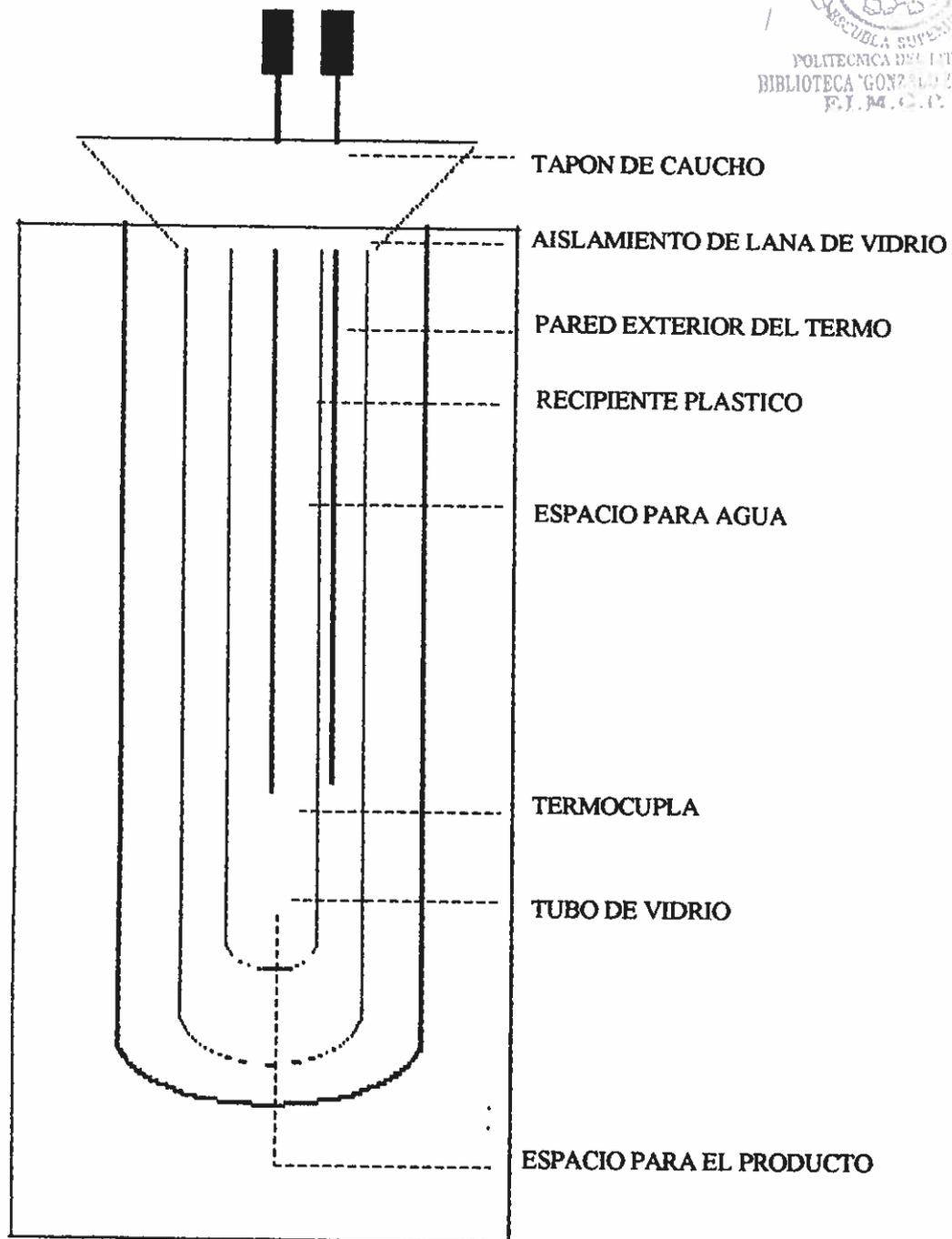
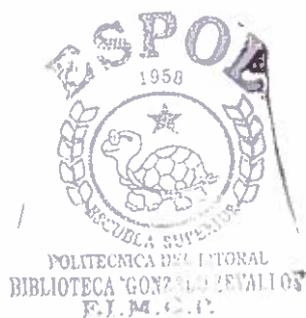
$X$  : Valor de la observación en las muestras.

$\sum X$  : Promedio de las muestras.

$n$  : Número de observaciones en las muestras.

$n-1$  : Grados de libertad de la muestra analizada.

# Anexo I





POLITECNICA DEL LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
R.T.M.C.R.

Anexo J

Litopeneaus vannamei de mar

MAYO	Experimetal	Teórico	Suma
	1028.18	1086.01	2114.19
	1045.56	1089.00	2134.56
	1033.33	1091.02	2124.35
	1046.09	1075.55	2121.63
	1038.18	1083.33	2121.52
	1054.56	1083.43	2137.99
	1039.33	1082.33	2121.67
	1029.09	1086.89	2115.98
	<b>8314.315327</b>	<b>8677.565455</b>	<b>16991.88</b>
JUNIO	1048.18	1100.00	2148.18
	1035.56	1084.00	2119.56
	1032.33	1060.00	2092.33
	1036.09	1074.55	2110.63
	1037.82	1083.03	2120.85
	1053.66	1087.33	2140.99
	1043.33	1078.23	2121.57
	1050.61	1075.04	2125.65
	<b>8337.574734</b>	<b>8642.185455</b>	<b>16979.76</b>
JULIO	1032.50	1080.03	2112.53
	1047.96	1077.14	2125.10
	1028.36	1063.33	2091.69
	1047.78	1068.18	2115.96
	1050.00	1084.29	2134.29
	1038.46	1083.33	2121.79
	1050.00	1075.02	2125.02
	1036.67	1082.50	2119.17
	<b>8331.724291</b>	<b>8613.822056</b>	<b>16945.55</b>
AGOSTO	1037.14	1100.00	2137.14
	1042.22	1084.02	2126.24
	1030.77	1086.00	2116.77
	1040.00	1064.55	2104.55
	1054.55	1073.33	2127.88
	1036.67	1093.23	2129.90
	1038.53	1083.33	2121.87
	1042.50	1085.33	2127.83
total	<b>8322.379765</b> 33305.99412	<b>8669.796455</b> 34603.36942	<b>16992.18</b> 67909.36

## ANEXO K

**TABLA 8** Puntos porcentuales de la distribución F  $\alpha = 0.05$



$v_2$ (g.l.)	$v_1$ (g.l.)								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5
2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38
3	10.13	9.55	9.38	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10
7	5.59	4.73	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28
26	4.23	3.37	2.98	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21
40	4.08	3.22	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88

Anexo L

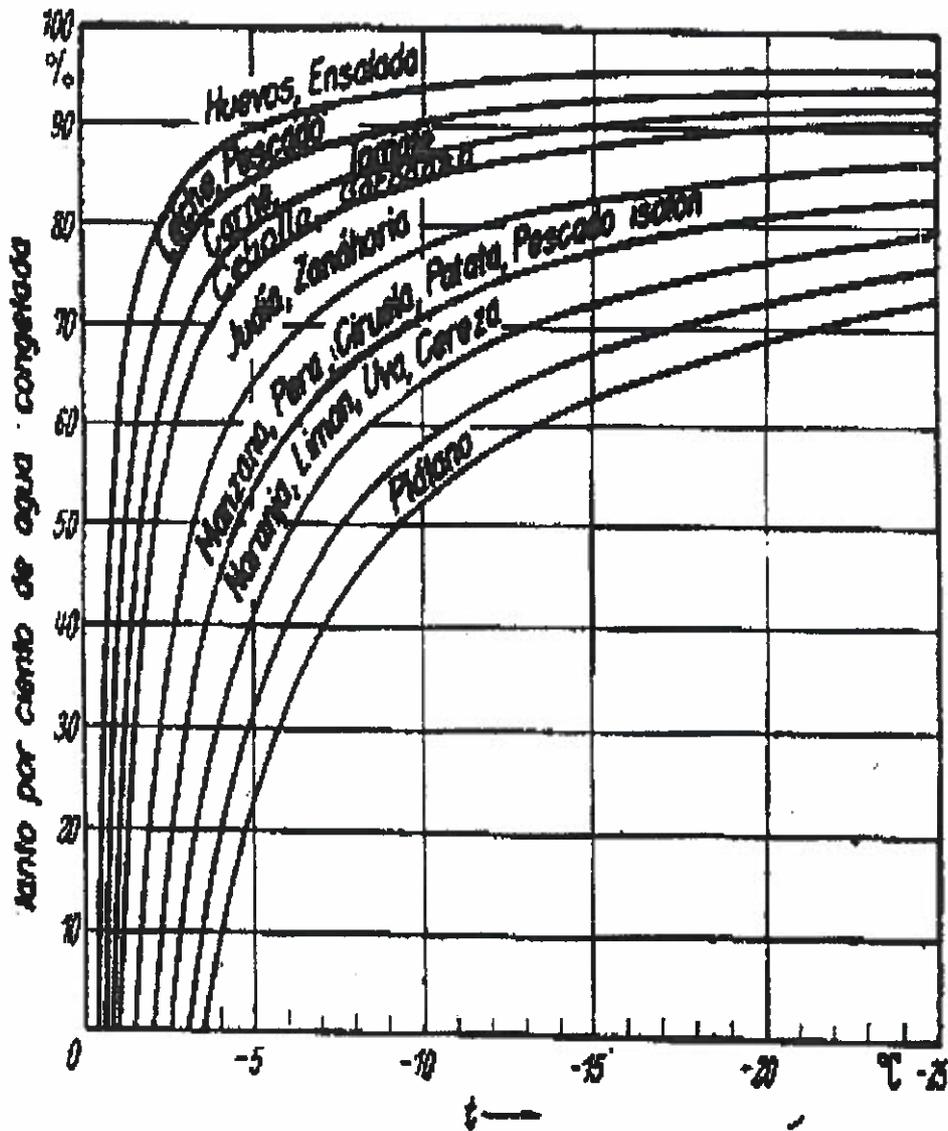


FIG. 7. Curso aproximado de las cantidades de agua congeladas en función de la temperatura, para diferentes alimentos (según HEISS).

Anexo M

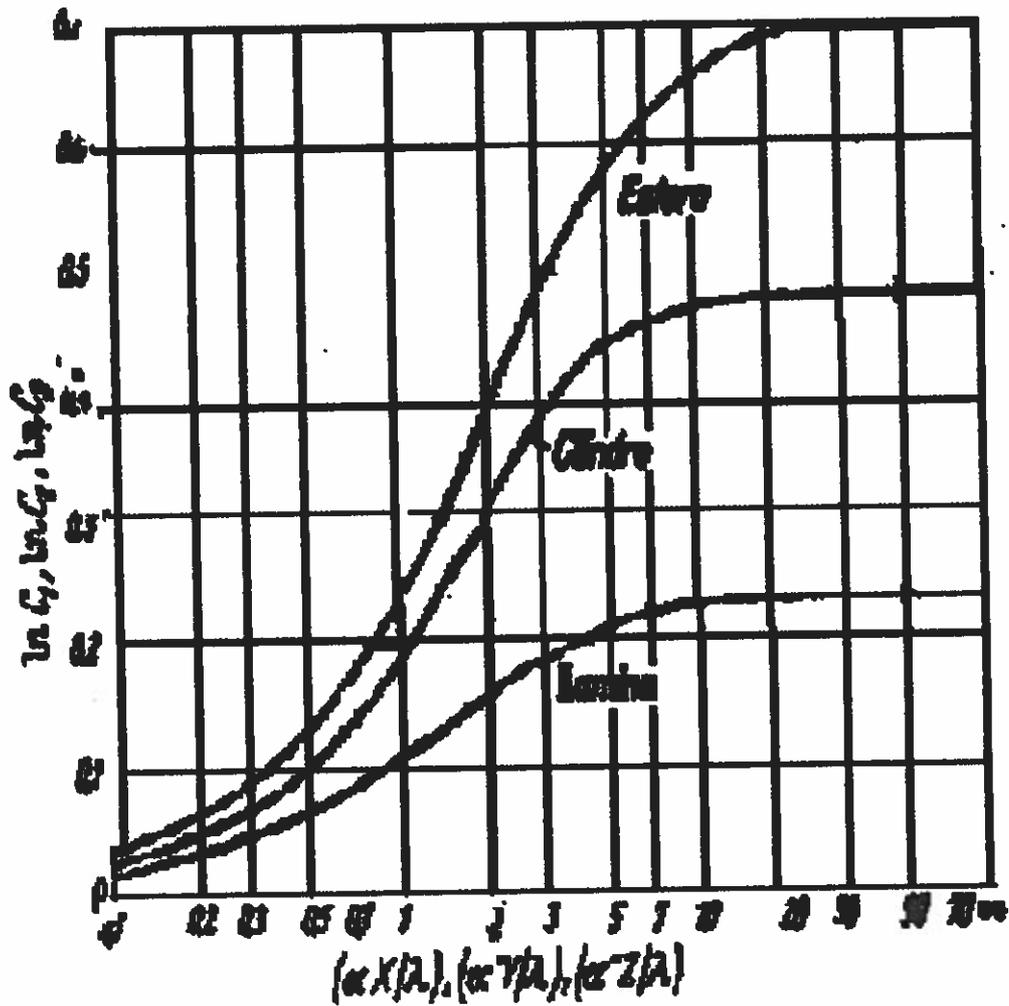


FIG. 3. Valores de la  $C_0$ , respectivamente, de la  $C_1$ , la  $C_2$ , la  $C_3$ , para láminas, cilindros y esferas.

## Anexo N

### VALORES DE $\mu^2, \nu^2, \kappa^2$ (12)

Indices $\alpha \times \lambda$	$\mu^2, \nu^2, \kappa^2$		
	LAMINA	CILINDRO	ESFERA
0,00	0	0	0
0,01	0,0100	0,0199	0,0299
0,02	0,0199	0,0400	0,0586
0,05	0,0493	0,986	0,148
0,07	0,0683	0,140	0,215
0,10	0,0967	0,195	0,294
0,15	0,142	0,291	0,463
0,20	0,187	0,381	0,576
0,30	0,273	0,558	0,842
0,50	0,426	0,885	1,36
0,70	0,563	1,18	1,83
1,0	0,741	1,58	2,47
1,5	0,977	2,16	3,36
2,0	1,164	2,56	4,12
3,0	1,42	3,19	5,23
5,0	1,73	3,96	6,60
7,0	1,89	4,39	7,03
10,0	2,04	4,75	8,04
15	2,17	5,10	8,60
20	2,24	5,24	8,91
30	2,31	5,39	9,20
50	2,36	5,56	9,48
$\infty$	2,47	5,78	9,87

Anexo Ñ

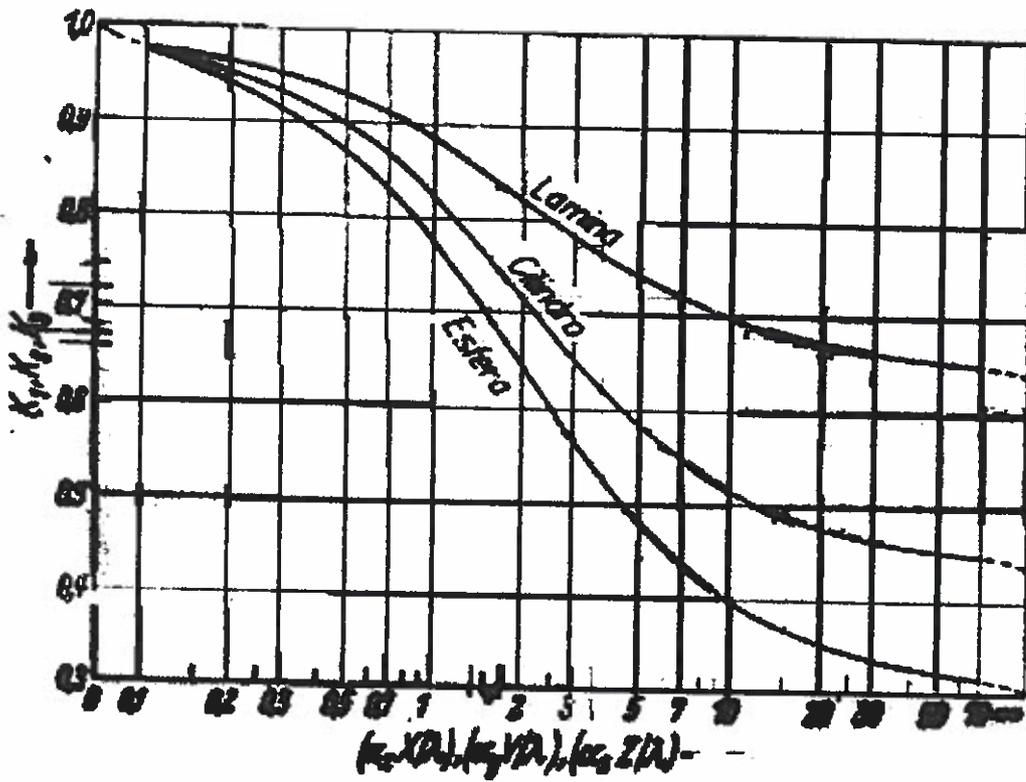


FIG. 5. Valores de las funciones  $K_1$ ,  $K_2$  y  $K_3$  en la ecuación (10) para diferentes formas del objeto.

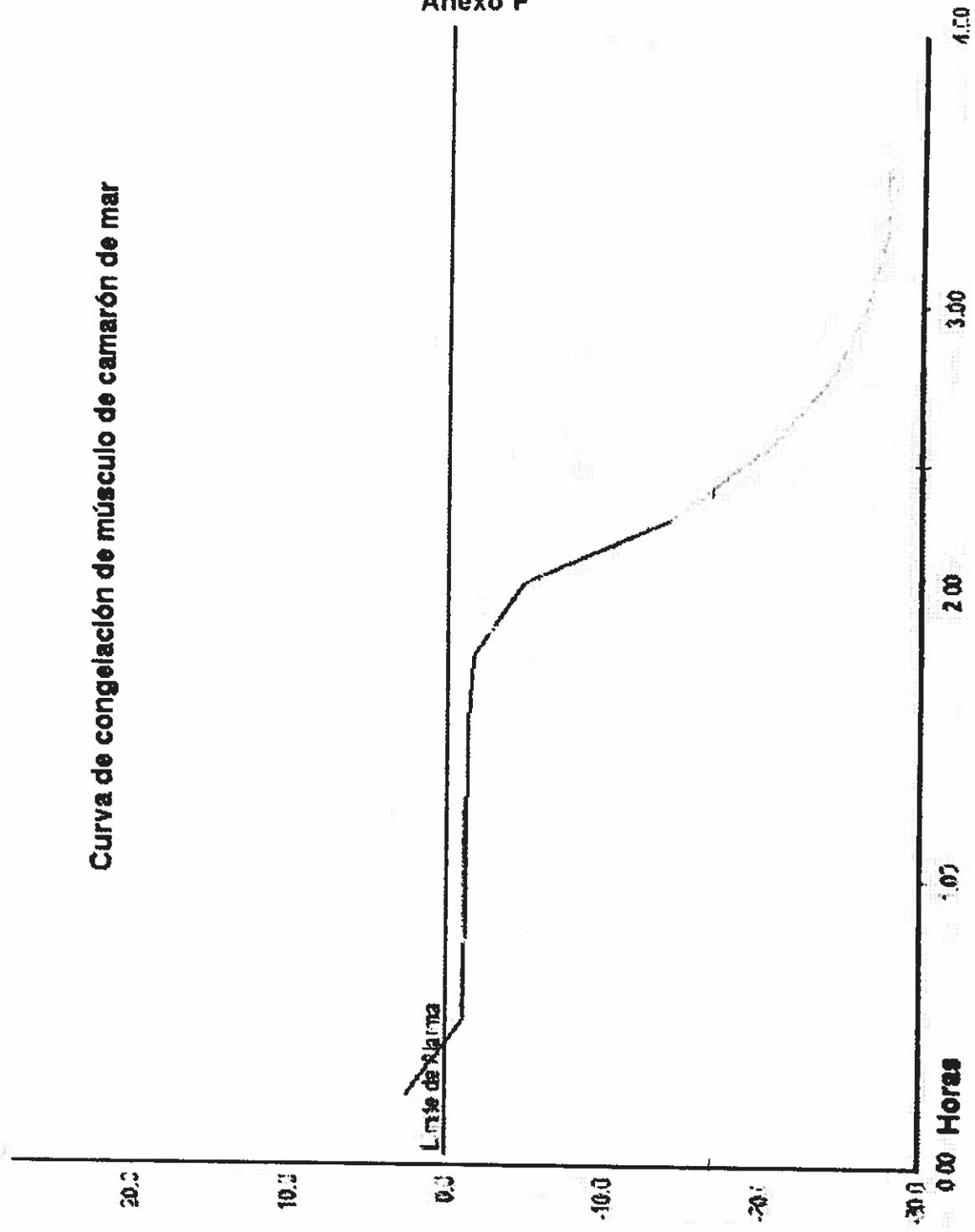
## Anexo O

### VALORES DE "n" SEGUN NUMERO DE BIOT (12)

Para $\alpha h / \lambda$ (Número de Biot)	"n"
0,25	1,210
0,5	1,188
1,0	1,156
2,0	1,112
4,0	1,065
10,0	1,020
20,0	1,008
$\infty$	1,000

# Curva de congelación de músculo de camarón de mar

Anexo P



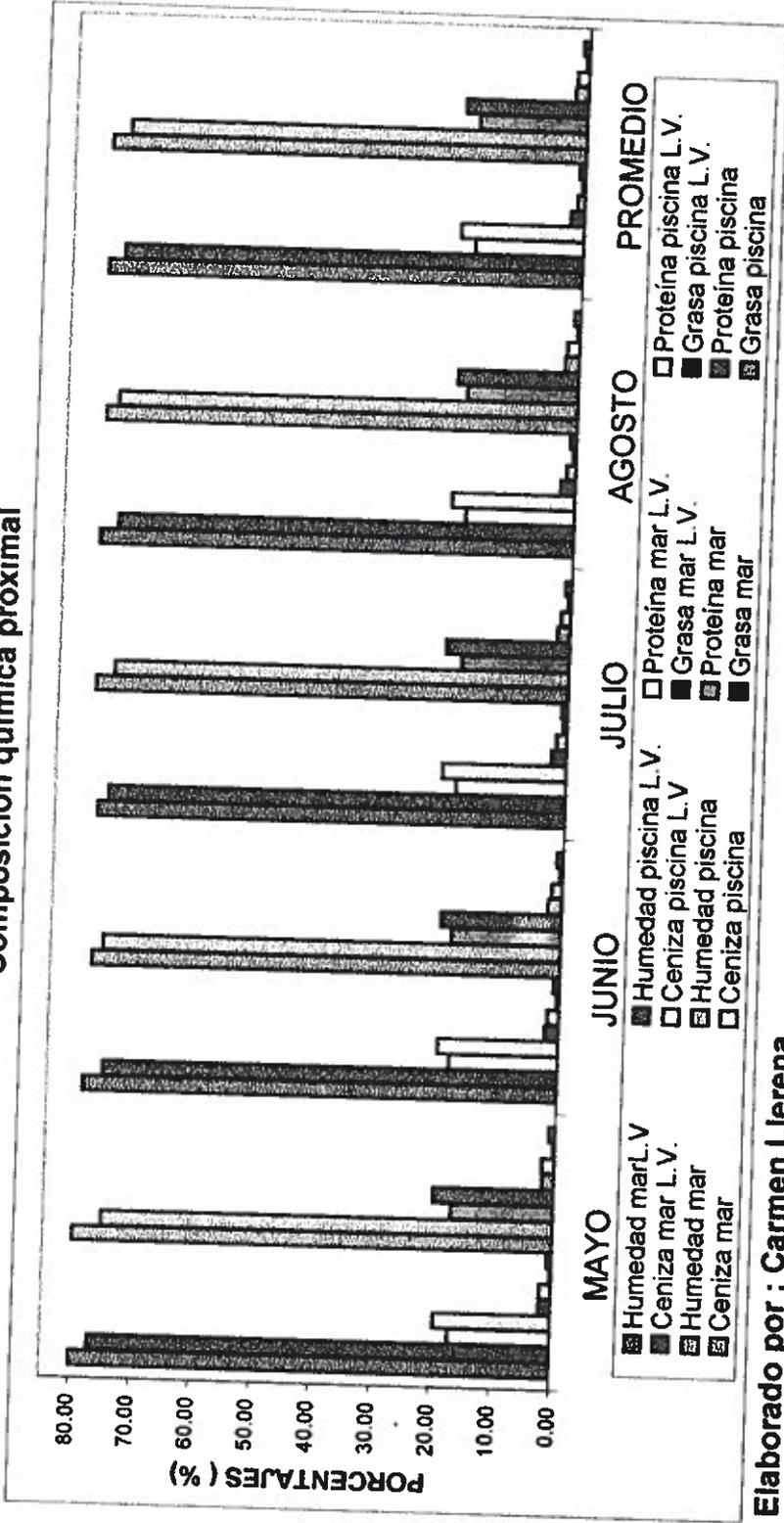
X: / /

Presentado por: U. de C.

2021/11/11

ANEXO Q

Composición química proximal



Elaborado por : Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

## Anexo R

### Aplicación de otros modelos matemáticos

Algunos autores han propuesto varias ecuaciones:

1. Para el cálculo del calor específico de los alimentos:

1. Dickerson

$$C_p = 1,675 + 0,025 \%H$$

2. Siebel

$$C_p = 0,837 + 0,034 \%H$$

3. Alvarado

$$C_p = 1,194 + 0,026 \%H$$

$$C_p = 1,56 e^{0,009446 \%H}$$

4. Charm

$$C_p = 2,094 X_G + 1,256 X_S + 4,187 X_H$$

2. Para el cálculo de difusividad térmica:

$$\alpha = (0,0572 X_m + 0,0138 X_g + 0,0003T) \times 10^{-6}$$

3. Para el cálculo de conductividad térmica:

1. Sweat

$$K = 0,148 + 0,0049 \%H$$

2. Harper

$$K = K_{agua} (1 - 0,5 Xs)$$

3. Earle

$$K = 0,55/100 (\%H) + 0,26 (100 - \%H)$$

## Anexo S

### Aplicación de otros modelos matemáticos

#### 1. Calor específico

##### 1.1 *L. Vannamei* de mar

###### 1.1.1 Dickerson

Mayo:

$$C_p = 1,675 + 0,025 (79,46)$$

$$C_p = 3,662 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

###### 1.1.2 Siebel

Mayo

$$C_p = 0,837 + 0,034 (79,46)$$

$$C_p = 3,539 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

###### 1.1.3 Alvarado

Mayo

$$C_p = 1,194 + 0,026 (79,46)$$

$$C_p = 3,260 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

###### 1.1.4 Charm

Mayo

$$X_s = 100 - (79,46 - 0,25) = 20,79$$

$$C_p = 2,094 \cdot (0,0025) + 1,256 \cdot (0,2079) + 4,187 \cdot (0,7946)$$

$$C_p = 3,5934 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

### 1.1.5 Heldman

$$C_p = 1,424 \cdot (0,0015) + 1,549 \cdot (0,1895) + 1,675 \cdot (0,0025) + 0,837 \cdot (0,0125) + 4,187 \cdot (0,7946)$$

$$C_p = 3,6373 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

## 2. Conductividad térmica

### 2.1 L. Vannemel de mar

#### 2.1.1 Sweat

Mayo:

$$K = 0,148 + 0,0049 (79,46)$$

$$K = 0,537 \text{ W / m } ^\circ\text{K}$$

#### 2.1.2 Harper

Mayo

$$K = K_{\text{agua}} ( 1 - 0,5 \cdot [ (100 - 79,46)/100] )$$

$$K =$$

#### 2.1.3 Earle

Mayo

$$K = (0,55/100) \cdot 79,46 + (0,26/100) \cdot ( 100 - 79,46 )$$

$$K = 0,4904 \text{ W / m } ^\circ\text{K}$$

Tabla

Comparación de los diferentes modelos matemáticos para calcular el Calor específico (KJ / Kg °K )

<i>L. Vannamei (mar)</i>				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Dickerson	3,675	3,650	3,618	3,646
Siebel	3,557	3,522	3,479	3,517
Alvarado	3,274	3,247	3,214	3,244
Charm	3,615	3,588	3,558	3,586
Heldman	3,643	3,616	3,581	3,612
Choi & Okos	3,68	3,66	3,67	3,66
Experimental	3,00	3,00	3,01	3,01
<i>L. Vannamei (piscina)</i>				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Dickerson	3,604	3,566	3,574	3,570
Siebel	3,460	3,409	3,419	3,414
Alvarado	3,200	3,161	3,168	3,165
Charm	3,511	3,508	3,517	3,512
Heldman	3,571	3,529	3,540	3,537
Choi & Okos	3,65	3,64	3,65	3,64
Experimental	3,42	3,23	3,11	3,11

**Tabla**

**Comparación de los diferentes modelos matemáticos para calcular el Calor específico (KJ / Kg °K )**

<b>L. Stylirostri (mar)</b>				
<b>Según:</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>
Dickerson	3,676	3,626	3,644	3,634
Siebel	3,558	3,490	3,515	3,501
Alvarado	3,275	3,223	3,242	3,231
Charm	3,615	3,560	3,582	3,569
Heldman	3,646	3,591	3,611	3,599
Choi & Okos	3,66	3,65	3,68	3,69
Experimental	2,94	2,94	2,96	2,96
<b>L. Stylirostri (plscina)</b>				
<b>Según:</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>
Dickerson	3,558	3,580	3,565	3,584
Siebel	3,397	3,428	3,407	3,433
Alvarado	3,152	3,175	3,159	3,179
Charm	3,498	3,524	3,506	3,528
Heldman	3,520	3,546	3,531	3,548
Choi & Okos	3,60	3,65	3,64	3,60
Experlmental	3,41	3,43	3,36	3,25

Tabla

Comparación de los diferentes modelos matemáticos para calcular la  
Difusividad térmica ( $m^2/s$ )

<i>L. Vannamei</i> (mar)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Miles y colaboradores	$0,904 \times 10^{-7}$	$0,905 \times 10^{-7}$	$0,907 \times 10^{-7}$	$0,906 \times 10^{-7}$
Choi & Okos	$1,35 \times 10^{-7}$	$1,34 \times 10^{-7}$	$1,34 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-7}$
Experimental	$1,12 \times 10^{-7}$	$1,15 \times 10^{-7}$	$1,11 \times 10^{-7}$	$1,14 \times 10^{-7}$
<i>L. Vannamei</i> (piscina)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Miles y colaboradores	$0,904 \times 10^{-7}$	$0,905 \times 10^{-7}$	$0,907 \times 10^{-7}$	$0,906 \times 10^{-7}$
Choi & Okos	$1,34 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-7}$	$1,33 \times 10^{-7}$
Experimental	$1,08 \times 10^{-7}$	$1,7 \times 10^{-7}$	$1,11 \times 10^{-7}$	$1,11 \times 10^{-7}$

**Tabla**

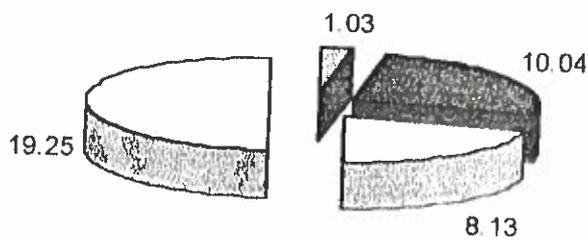
**Comparación de los diferentes modelos matemáticos para calcular la Conductividad térmica ( $W / m \text{ } ^\circ K$ )**

<b>L. Vannamei (mar)</b>				
<b>Según:</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>
<b>Sweat</b>	0,540	0,535	0,529	0,534
<b>Earle</b>	0,492	0,489	0,485	0,489
<b>Choi &amp; Okos</b>	0,55	0,55	0,55	0,54
<b>Experimental</b>	0,36	0,38	0,34	0,31
<b>L. Vannamei (piscina)</b>				
<b>Según:</b>	<b>Mayo</b>	<b>Junio</b>	<b>Julio</b>	<b>Agosto</b>
<b>Sweat</b>	0,526	0,518	0,520	0,519
<b>Earle</b>	0,484	0,479	0,480	0,480
<b>Choi &amp; Okos</b>	0,55	0,54	0,54	0,54
<b>Experimental</b>	0,41	0,36	0,37	0,39

### Anexo V

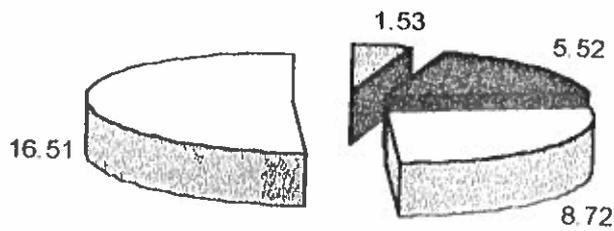
Porcentaje de variación de los datos teóricos vs experimentales de las propiedades físicas entre las especies *L. Vannamei* y *L. Stylirostri*.

L. Vannamei de mar teórico vs experimental



□ Densidad ■ Calor específico □ difusividad □ condutividad

L. Vannamei de piscina teórico vs experimental

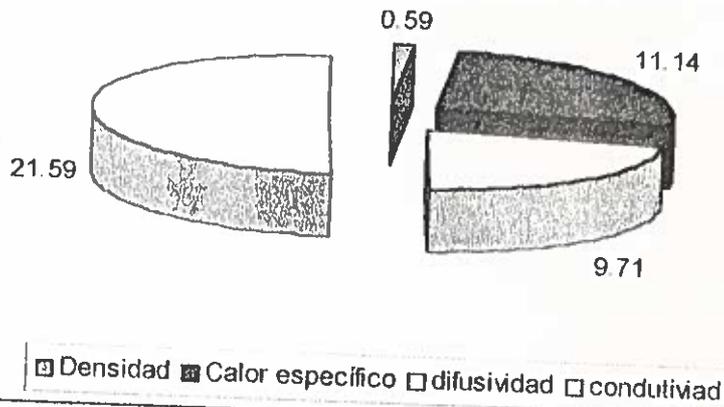


□ Densidad ■ Calor específico □ difusividad □ condutividad

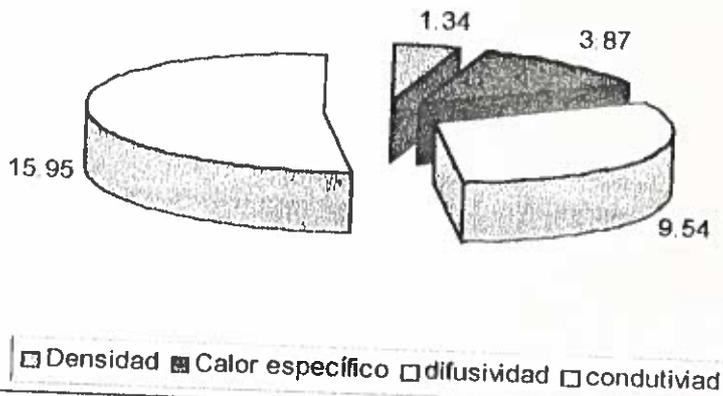
Elaborado por; Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

### L. Stylirostri mar Teórico vs experimental



### L. Stylirsotri de piscina teórico vs experimental



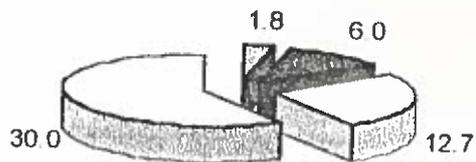
Elaborado por: Carmen Llerena

Fecha: 11/07/2000

## Anexo T

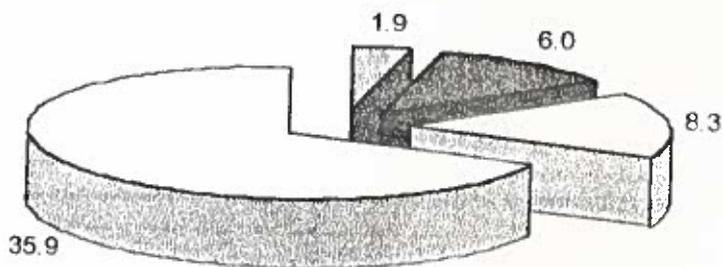
Porcentaje de variación promedio de la composición química entre las especies *L.Vannamei* y *L.Stylirostri* de mar y piscina

*L.Vannamei* de mar y piscina



□ HUMEDAD ■ PROTEÍNA □ CENIZA □ GRASA

*L.Stylirostri* de mar y piscina



□ HUMEDAD ■ PROTEÍNA □ CENIZA □ GRASA

Elaborado por: Carmen Llerena

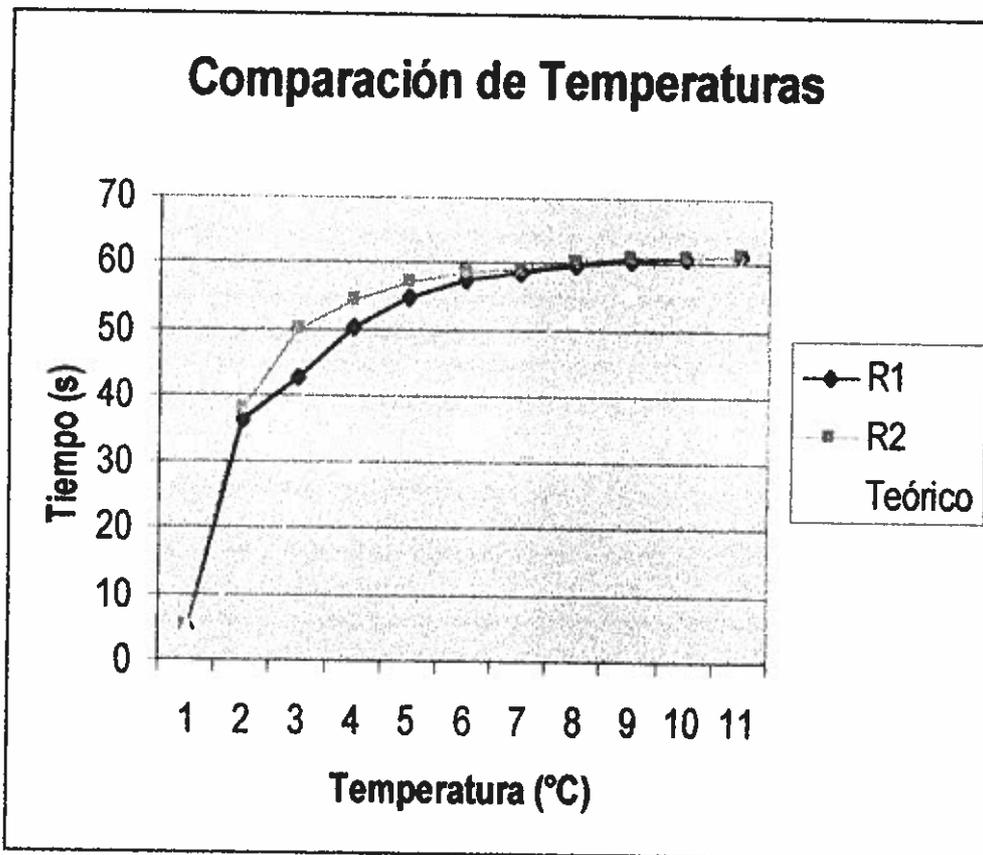
Fecha: 11/07/2000



### Anexo W

POLITECNICA LITORAL  
BIBLIOTECA "GONZALO ZEVALLOS"  
F.I.M.C.P.

## Comparación de temperatura experimentales y teórica para una difusividad térmica $1,14 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$



R1 = Replica #1

R2 = Replica #2

Teórico = Fourier vs Biot (Bibliográfico)

## Conclusiones

1. La composición química proximal de las especies estudiadas, varía en el período estacional de mayo - agosto. Al comparar los resultados obtenidos entre músculo de camarón de mar y de piscina, la humedad varía en un 2 %, el porcentaje de proteína varía en un 6%, el porcentaje de ceniza varía en un 7%, y el porcentaje de grasa varía en un 30%. (ver anexo T).
2. Al calcular los datos teóricos mediante el modelo de ecuaciones propuestas por Choi & Okos a 24 °C y -18°C, se nota la influencia de la temperatura sobre las propiedades físicas, existiendo una variación directamente proporcional en la densidad del 3% , y en el calor específico del 30%, y una variación inversamente proporcional en la difusividad térmica del 78 %, y en la conductividad térmica del 58%. ( ver anexo V)
3. Al comparar los datos teóricos y experimentales a 24°C, de todas las especies estudiadas en esta tesis, se puede observar una variación del 5% en la densidad, un 10% en el calor específico, un 10% en la difusividad térmica y un 20% en la conductividad térmica. ( ver anexo V)
4. Al comparar los valores teóricos obtenidos con las ecuaciones de Choi & Okos del calor específico y la difusividad térmica pueden ser determinadas con otras ecuaciones teóricas como los de Siebel, Charm, Mieles y colaboradores, donde la variación entre ellas no excede al 5 %, ver anexo R y S.
5. Para el cálculo de carga a remover del producto, se puede observar que

usando los datos teóricos no existe diferencia ( $P < 0.05$ ) entre los meses, y por lo tanto se tomó el valor promedio más alto para este cálculo.

6. Al comparar el tiempo de congelación obtenido experimentalmente con la ayuda de una termocupla digital ( ver anexo P) , y el valor teórico calculado con las fórmulas de Plank , observandose una diferencia del 10%, lo que nos dá una ventaja del cálculo teórico del real.

## Recomendaciones

1. Para determinar experimentalmente la densidad se debe tratar en lo posible trabajar con masas similares en las pruebas y temperaturas semejantes el agua y la muestra.
2. Para determinar el calor específico se usó un calorímetro artesanal, para un nuevo estudio, sería mejor utilizar un calorímetro adiabático que queme el oxígeno y anule cualquier pérdida de calor al ambiente.
3. Para determinar experimentalmente la difusividad térmica se debe utilizar un cilindro de cobre debido que es uno de los mejores conductores de calor y es económico.

## BIBLIOGRAFIA

1. **ALVARADO J.D., Principio de Ingeniería aplicado en alimentos. Secretaría general de la O.E.A., Ambato – Ecuador, 1996**
2. **CAMBA NELLY, BOLETIN CIENTÍFICO Y TÉCNICO, Manual de métodos de análisis de productos pesqueros., Instituto de pesca 1982 Guayaquil- Ecuador**
3. **CHOI YOUNGHEE y OKOS MARTIN, Los efectos de temperatura y composición en las propiedades térmicas de alimentos, Universidad Nacional de Kyungpo, Taegu, Korea.**
4. **CONNELL J.J., Control de la calidad de pescado, editorial Acribla, Zaragoza – España.**
5. **CURSO INTERNACIONAL SOBRE PROCESAMIENTO PESQUERO PARA SEGURIDAD ALIMENTARIA, Procesamiento de productos congelados, Instituto tecnológico del Perú, Callao – Perú, 1996, pp. 7-9, 10-15.**
6. **DANFOSS, Refrigeration to the basics, Nordbory, march 1970**
7. **JOURNAL OF FOOD ENGINEERING 9, Thermal roperties of doughand bakery product; a review of published Data 1989, pp. 167 – 193**
8. **LENAGUER M, Food enginering and process aplicatons, Department of food science university, Edmonton Alberta Canadá, Elsevier applied science publisher**
9. **LEWIS M. J., Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado, Editorial Acribla S.A., Zaragoza – España**

10. **MENDENHALL WILLIAM**, Estadística para administradores, segunda edición, Grupo Editorial Iberoamérica. Belmont, California, 1998, pp. 774
11. **PESCA BLANCA INTERNACIONAL**, Vol. 1 N°3 (Junio 1998), pp. 21 - 23.
12. **PLANK RUDOLPH**, El empleo del frío en la industria de alimentación, Editorial Reverté S.A., Barcelona - España, 1980
13. **TABLA DE COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALIMENTOS ECUATORIANOS**, Instituto nacional de higiene Leopoldo Izquieta Pérez
14. **THE COMPLETE SEAFOOD HANDBOOK**, Finfish and shell fish published by journal publication, printed in USA 1995, pp. 78 - 79
15. **THE SEAFOOD HANDBOOK**, Global supplies & major markets, Sponsor of the International Boston seafood show, USA 1994, pp. 131 - 132
16. **TORRY D**, Handling and processing shrimp. Department of trade and industry, pp. 78-79
17. **SINELL HANS JURGEN**, Introducción a la higiene de los alimentos. Editorial Acribia.
18. **SOLUAP E**, Compendio de manejo y engorde de camarones *Penaeus* en cautiverio, Editorial Caupolicán LTDA.
19. **VARGAS A**, Manual de la industria del camarón, Editorial Series VZ., Ecuador.

20. VARGAS A, Curso de refrigeración, Editorial Series VZ., Ecuador.

21. WAYNE D, Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la salud., Editorial Limusa, México.