



Escuela Superior Politécnica del Litoral
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción



**Determinación Experimental y Cálculo
Teórico de Propiedades Físicas en Filetes
Frescos de Atún Limitado al periodo es-
tacional Mayo-Agosto; Aplicación al
Proceso de Congelación - 18' C**

TESIS DE GRADO

Previa a la Obtención del Título de:
INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:
TANNYA DEL ROCIO COBO MACHOA



Guayaquil - Ecuador

Año - 2000



AGRADECIMIENTO

A todas las personas que me han ayudado para la realización y culminación de este trabajo. Especialmente a la Dra, Nelly Camba por su invaluable ayuda, al Ing. Luis Miranda por la creación de la carrera y al Dr. Alfredo Barriga, Director de Tesis por su colaboración.

**“Quién ama a la corrección, ama la ciencia;
más el que aborrece las represiones, es un
insensato”** Proverbio7.1

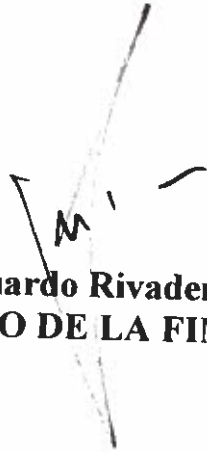
DEDICATORIA



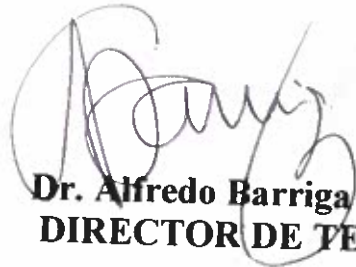
**A DIOS POR LA FUERZA QUE ME
HA DADO.**

**A MI MADRE, A MI HERMANA Y A
MI AMIGA CARMEN LLERENA
POR EL APOYO Y FE QUE HAN
PUESTO EN MI.**

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



**Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP**



**Dr. Alfredo Barriga R.
DIRECTOR DE TESIS**

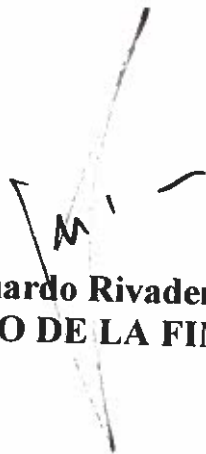


**Ing. Edmundo Villacís M.
VOCAL**

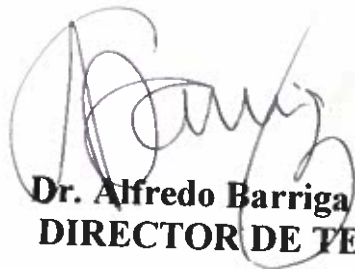


**Ing. Francisco Andrade S.
VOCAL**

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Eduardo Rivadeneira P.
DECANO DE LA FIMCP



Dr. Alfredo Barriga R.
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Edmundo Villacís M.
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 Graduación de la ESPOL)

Tannya del Rocio Cobo M.

Tannya del Rocio Cobo M.

RESUMEN

Se determinó la composición química de filetes de pescados sin piel (*Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*) durante mayo - agosto y en base a esto se calculó teóricamente, utilizando el modelo matemático de Choi & Okos en producto fresco y congelado a -18°C , las propiedades físicas: densidad, calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica.

También, presentamos los resultados de las pruebas experimentales realizadas para determinar las propiedades físicas. Comparamos los resultados y establecimos que hay diferencia significativa entre los valores obtenidos en forma teórica y experimental en el producto fresco.

Finalmente utilizamos los datos obtenidos, con el modelo matemático de Choi & Okos para determinar el valor teórico del calor que se deberá extraer y el tiempo necesario para congelar los filetes de atún a -18°C .

INDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INTRODUCCION.....	1
1.GENERALIDADES Y CONSERVACION	4
1.1Morfología del <i>Thunnus albacares</i> (albacora)	7
1.2 Morfología del <i>Katsuwonus pelamis</i> (barrilete)	8
1.3 Composición química de referencia	9
1.4 Método de preservación	11
1.4.1 Factores extrínsecos	11
1.4.2 Factores intrínsecos	13
1.5 Conservación por congelación	17
1.6 Influencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológico	24
II PRUEBAS EXPERIMENTALES	
2.1 Materiales y métodos	26
2.2 Determinación de la composición química proximal	27
2.2.1 Humedad	28
2.2.2 Proteína	28

3.2.2.3 Grasa	28
2.2.4 Ceniza	28
2.3 Cálculo teórico de propiedades físicas en producto fresco utilizando la composición química con el modelo de Choi & Okos	31
2.3.1 Densidad	33
MAP 2.3.2 Calor específico	36
DE C 2.3.3 Difusividad térmica	38
4.1 2.3.4 Conductividad térmica	42
2.4 Determinación experimental de las propiedades físicas en productos frescos	46
2.4.1 Densidad	47
COI 2.4.2 Calor específico	49
NEY 2.4.3 Difusividad térmica	54
BLK 2.4.4 Conductividad térmica	59
2.5 Cálculo teórico de las propiedades físicas con el modelo de Choi & Okos a temperatura de -18°C	62
2.5.1 Densidad	65
2.5.2 Calor específico	68
2.5.3 Difusividad térmica	70
2.5.4 Conductividad térmica	76
 III RESULTADOS TEORICOS Y EXPERIMENTALES	
3.1 Elaboración de tablas de resultados teóricos y experimentales	80

3.2 Comparación de resultados en producto fresco	97
3.2.1 Densidad	98
3.2.2 Calor específico	98
3.2.3 Difusividad térmica	99
3.2.4 Conductividad térmica	100

IV APLICACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS AL PROCESO DE CONGELACION (-18°C)

4.1 Cálculo de la carga térmica a remover para congelar en forma individual filetes de peces	108
4.2 Cálculo del tiempo efectivo de congelación en filetes de peces sin empacar	114

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

BIBLIOGRAFIA

Il
m
m
m
m
M
M
M
P
P
S
S
S
R
R

P
T
Ti
Te
Twi
Tm
T.M
i
Vi
V

ABREVIATURA

Bi	Biot
Cal	Caloría
C	Ceniza
Ch	Carbohidrato
°C	grado centígrado
Cp	calor específico
D	Diámetro
°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 ²	metro cuadrado
m ³	metro cúbico
ml	mililitro
Ms	masa de la muestra
Mw	masa del agua
Mwc	masa del agua caliente
Mwf	masa del agua fría
P	Proteína
pulg	pulgada
s	segundo
S1	Desviación estándar teórica
S2	Desviación estándar experimental
R1	replica #1
R2	replica #2

r^2	Radio al cuadrado
T	temperatura
T_i	Temperatura inicial (agua caliente)
T_e	temperatura de equilibrio
T_{wf}	Temperatura de agua fría
T_m	temperatura de la muestra
T.M.	Toneladas métricas
t	Tiempo
V_i	Volumen inicial
V_f	volumen final
W	watts

SIMBOLOGIA

Σ	Sumatoria
ρ	Densidad
ρ_w	densidad del agua
α	difusividad térmica
h	altura
k	conductividad térmica
L	longitud
U	coeficiente 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	<i>Thunnus Albacares</i>	10
Figura 1.2	<i>Katsuwonus pelamis</i>	10
Figura 1.3	Formación de Histamina	14
Figura 1.4	Transmisión de calor del filete de atún	21
Figura 1.5	Curva de congelación (bibliográfico)	23
Figura 2.6	Composición química proximal	30
Figura 2.7	Densidad teórica a 24°C	35
Figura 2.8	Calor específico teórico a 24°C	38
Figura 2.9	Difusividad térmica teórica a 24°C	41
Figura 2.10	Conductividad térmica teórica a 24°C	44
Figura 2.11	Densidad experimental	49
Figura 2.12	Calor específico experimental	54
Figura 2.13	Factor de calentamiento (f)	57
Figura 2.14	Difusividad térmica experimental	58
Figura 2.15	Conductividad térmica experimental	60
Figura 2.16	Densidad teórica a -18°C	67
Figura 2.17	Calor específico teórico a -18°C	70
Figura 2.18	Difusividad térmica teórica a -18°C	75
Figura 2.19	Conductividad térmica teórica a -18°C	77
Figura 3.20	Valores promedio de la densidad del <i>Thunnus</i>	84
Figura 3.21	Valores promedio de la densidad del <i>Katsuwonus</i>	84
Figura 3.22	Valores promedio del calor específico del <i>Thunnus</i>	88
Figura 3.23	Valores promedio del calor específico del <i>K.</i>	88
Figura 3.24	Valores promedio de la difusividad térmica del <i>T.</i>	92
Figura 3.25	Valores promedio de la difusividad térmica del <i>K.</i>	92
Figura 3.26	Valores promedio de la conductividad térmica	96
Figura 3.27	Valores promedio de la conductividad térmica	96
Figura 4.28	Porcentaje de agua congelada	
Figura 4.29	Dimensiones del congelador de túnel	
Figura 4.30	Curva de congelación (experimental)	

INDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla I	Clasificación del tamaño <i>Thunnus albacares</i>	7
Tabla II	Composición química bibliográfica	9
Tabla III	Composición química promedio <i>Thunnus albacares</i>	29
Tabla IV	Composición química promedio <i>Katsuwonus pelamis</i>	29
Tabla V	Ecuaciones matemáticas generales de Choi & Okos para calcular propiedades físicas de alimentos.	32
Tabla VI	Valores promedio teórico del <i>Thunnus albacares</i>	45
Tabla VII	Valores promedio teórico del <i>Katsuwonus pelamis</i>	45
Tabla VIII	Ecuaciones usadas para calcular las propiedades físicas	46
Tabla IX	Datos para calibración del calorímetro	51
Tabla X	Datos para calcular el calor específico experimental	53
Tabla XI	Historia de temperatura (°C)	57
Tabla XII	Valores promedio experimentales del <i>Thunnus albacares</i>	61
Tabla XIII	Valores promedio experimentales del <i>Katsuwonus pelamis</i>	62
Tabla XIV	Difusividad térmica a temperatura menor a 0°C	64
Tabla XV	Valor promedio a -18°C del <i>Thunnus albacares</i>	78
Tabla XVI	Valor promedio a -18°C del <i>Katsuwonus pelamis</i>	79
Tabla XVII	Valor promedio de la densidad en filetes de atún	82
Tabla XVIII	Valor promedio de la densidad a -18 y 24°C	83
Tabla XIX	Valor promedio del calor específico en filetes de atún	86
Tabla XX	Valor promedio del calor específico a -18 y 24°C	87
Tabla XXI	Valor promedio de la difusividad térmica en filetes de atún	90
Tabla XXII	Valor promedio de la difusividad térmica a -18 y 24°C	91
Tabla XXIII	Valor promedio de la conductividad térmica en filetes	92
Tabla XXIV	Valor promedio de la conductividad térmica a -18 y 24°C	93
Tabla XXV	Promedio entre metodología	101
Tabla XXVI	Características constructivas de las paredes y techo	106
Tabla XXVII	Fórmulas para los cálculos de la carga térmica	107
Tabla XXVIII	Fórmulas para el cálculo del tiempo de congelación	116

INDICE DE CALCULOS

		Pág
Cálculo 1	Densidad teórica a 24°C	33
Cálculo 2	Calor específico teórico a 24°C	36
Cálculo 3	Difusividad térmica teórica a 24°C	39
Cálculo 4	Conductividad térmica teórica a 24°C	42
Cálculo 5	Densidad experimental	48
Cálculo 6	Calibración del equipo con agua destilada	51
Cálculo 7	Calor específico experimental del filete sin piel	52
Cálculo 8	Difusividad térmica experimental del filete sin piel	56
Cálculo 9	Conductividad térmica experimental del filete sin piel	60
Cálculo 10	Densidad teórica a -18 °C	65
Cálculo 11	Calor específico teórico a -18°C	68
Cálculo 12	Difusividad térmica teórica a -18 °C	71
Cálculo 13	Conductividad térmica teórica a -18 °C	77
Cálculo 14	Calor a extraer durante la congelación	112
Cálculo 15	Tiempo de congelación para el filete de atún	118

INTRODUCCION

El país cuenta con 49 empresas pesqueras en operaciones dedicadas a la elaboración de productos congelados, enlatados, harina y aceite de pescado.

Cada empresa pesquera que se establece en nuestro país es un paso firme y puntual básico para el desarrollo socio económico con el propósito fundamental de llegar a los mercados tanto nacionales como internacionales con una calidad que satisfaga las expectativas del consumidor y con alimentos inocuos.

Las exportaciones principalmente de pescado permite generar divisas a través del trabajo industrial y el Comercio Exterior con la finalidad de contribuir al desarrollo socio económico del Ecuador.

Del valor promedio anual exportado de atún ecuatoriano, el 4 % corresponde a atún fresco, el 51% a congelado y el 45% a conserva de atún. El atún

fresco se comercializa entero, con y sin cabeza, en filetes con y sin piel, y en lomos. Como se puede apreciar estos últimos años ha permitido que el sector pesquero industrial exportador se fortalezca logrando ubicarse como un rubro importante para el desarrollo de la economía del país.

En lo social, este sector ha jugado un papel importante para el desarrollo del Ecuador ya que al incorporarse barcos a la flota pesquera, se incrementaron las plantas industriales de pescado, lo que trajo un aumento de mano de obra calificada y no calificada especialmente la femenina que hoy en día es representativo en el sector. Además indirectamente se crearon empresas que ofrecen servicios tales como: ventas de cartón, plásticos, transporte de carga nacional e internacional, fábrica de hielo, entre otros.

Toda empresa pesquera en crecimiento tiene proyecciones a corto y largo plazo para llevar adelante un plan de expansión, en su capacidad de frío. Con proyecciones a convertirse en un centro de atracción para la inversión extranjera, pues la inversión de capitales extranjeros en actividades fabriles nacionales permite la rehabilitación y prosperidad de nuestra economía.

La exportación resulta ser la parte más difícil del sector pesquero considerando que se maneja un producto delicado y perecedero, por lo que

se ha visto en la necesidad de conservarlo a baja temperatura para mantener su calidad intrínseca y sus propiedades nutricionales.

Por ello la importancia del tema debido que en épocas anteriores fue práctica común utilizar valores generales de las propiedades térmicas de los alimentos para su aplicación en calculo de ingeniería. Se conoce que las propiedades térmicas cambian con la composición química. Son múltiples los usos de los datos térmicos para los cálculos de ingeniería, diseño, control de equipos y para el control de operaciones de plantas industriales



CAPITULO 1

GENERALIDADES Y CONSERVACION

El atún es miembro de la más alta especie de túnidos dentro de la familia de los Scombridae. El típico atún es el de coloración plateada con una azulada capa que empieza desde la punta de la cabeza hasta la cola, de cuerpo fusiforme dotado de un potente sistema circulatorio. Boca de reducido tamaño. Escamas pequeñas, pero más grandes en dorso y vientre hasta la primera dorsal ó pelvianas. Estas aletas son falciformes y se prolongan hasta el extremo posterior de la primera dorsal; aleta causal en forma de media luna, con quilla colateral; detrás de la tercera dorsal y de la anal se encuentran de 8 a 10 pequeñas aletas amarillas de bordes oscuros; los costados azul plateado y vientre blanco. (7)

El área donde habitan los atunes se extiende por las aguas templadas y tropicales de todos los océanos, por donde realizan travesías de miles de millas en sus vastas migraciones. Estos peces están especialmente adaptados a su ambiente, se destacan por su potencial de crecimiento y fecundidad, por su velocidad y son especialmente renombrados por el vigor que requieren sus viajes transoceánicos. El atún se lo conoce como fuertemente migratorio, la naturaleza migratoria hace difícil la conservación de muchas especies y el control de su pesca. Su conservación es importante pues los avances tecnológicos en los aparejos y métodos de pesca, junto con el constante crecimiento de la demanda de esta especie, incrementa la presión pesquera sobre sus reservas globales, la conservación y el control en especial. (7)

Varias especies de atún son comercializados en los mercados internacionales y domésticos, siendo los principales el atún aleta amarilla ó Yellowfin tuna ó *Thunnus albacares*, el atún barrilete ó Skipjack tuna, el atún barrilete negro ó Black skipjack tuna y atún albacora. (1)

Distribución en el Pacífico Oriental

Desde México hasta la parte septentrional de Chile. (1)

Distribución en Ecuador

Desde San Lorenzo (Esmeraldas) hasta Puerto Bolívar (El Oro) (1)

Peso

Por lo general en la albacora los adultos fluctúan entre 55 kg y 68 kg. (12).

Barrilete es de 6 kg a 7 kg y presenta una talla media de 130 centímetros de longitud (12)

Pesca

Artesanal e industrial. (1)

Utilización

Fresco (con gran demanda para el mercado de exportación y basado en los desembarques artesanales), congelado y enlatado. (12)



1.1 Morfología del *Thunnus albacares*

Alemán = Gelbflossenthun

Francés = Thon á nageoires jaunes

Americano = Yellow fin tuna. (15)

Conocido como atún aleta amarilla ó yellow fin tune, ocupa el segundo lugar en la especie por su abundancia en el mar. Es considerado el mejor atún para enlatados, pero también es adquirido con gran aceptación como un pescado fresco. (1)

Se caracteriza por presentar aletas pectorales y anal largas de color amarillo. Llega medir hasta 1.5 metros de longitud (1)

TABLA I

CLASIFICACIÓN DEL TAMAÑO *THUNNUS ALBACARES* (12)

Clasificación	Mínimo	Máximo
Tuna + 100 UP	4.500	20.000
Tuna 60 - 99	3.000	18.000
Tuna 40 - 59	2.000	16.000
Tuna 25 - 39	2.000	13.000

Habitat y biología

Es una especie pelágica oceánica (epipelágica), desde la superficie hasta unos 100 metros de profundidad. Se encuentra por encima y por debajo de la termoclina, en aguas con temperaturas entre 18°C y 31°C. Se alimenta de peces, crustáceos y moluscos. Los desembarques artesanales de albacora representan el 80%. (12)

1.2 Morfología del *Katsuwonus pelamis*

Alemán = Bauchstreifiger, echter bonito.

Francés = Bonito á ventre raye

Inglés = Striped bellied tunny

Americano = Skipjack, striped tuna, oceanic bonito. (15)

Conocido como Skipjack tune, es el segundo de la especie de atún aleta azul. Es un atún en abundancia, usualmente se vende enlatado, excepto en Hawaii, donde se lo comercializa en fresco. (12)

Este atún se caracteriza por presentar un dorso azul con reflejos rojizos, vientre con bandas longitudinales pardo azulada sobre fondo plateado. (14)

Habitat y biología

Vive en aguas tropicales y subtropicales. Es una especie epipelágica oceánica (15). Se la encuentra formando grupos, se reporta que durante el día pueden estar desde la superficie hasta aproximadamente los 260 metros de profundidad, pero por la noche se concentra en la superficie. Se alimenta de peces, crustáceos y moluscos. (12)

1.3 Composición química de referencia

La composición química del atún depende de la época del año, pero de manera general es:

TABLA II
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL ATUN/100 g
EN BASE HUMEDA (14)

HUMEDAD	81
PROTEINA	17
GRASA	0,3
CENIZA	1,5
FIBRA	0
CARBOHIDRATO	0,2

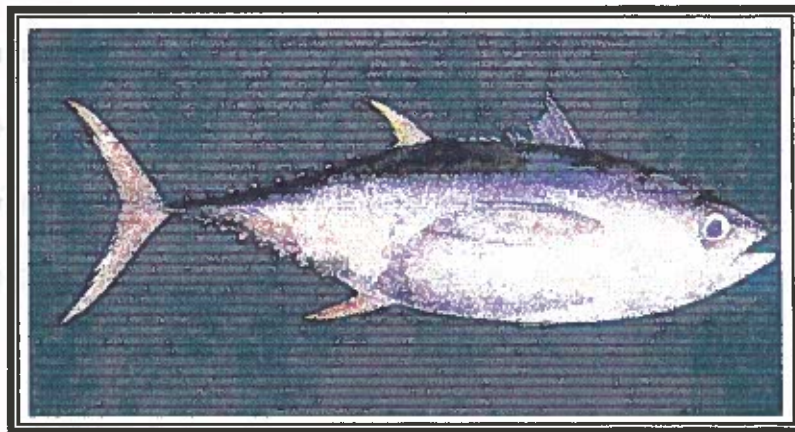


FIGURA 1.1 ***THUNNUS ALBACARES***

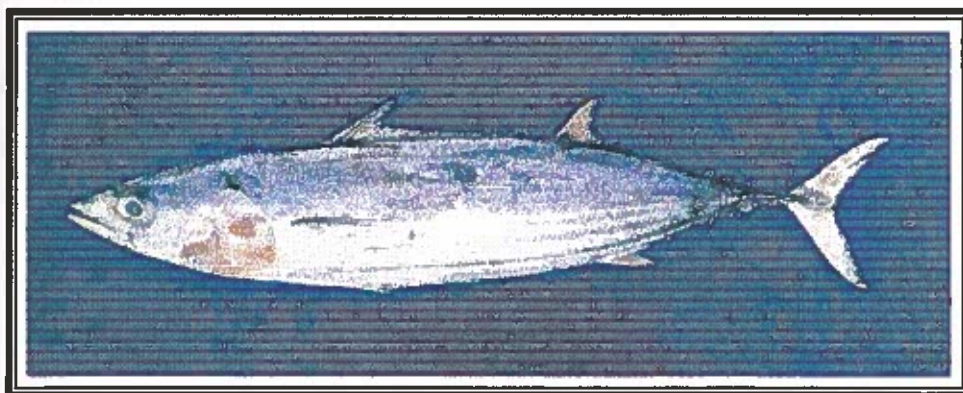


FIGURA 1.2 ***KATSUWONUS PELAMIS***

1.4 Métodos de preservación

La conservación tiene por objeto poner a los alimentos en unas condiciones en que las causas externas e internas de alteración se eliminen ó el proceso de descomposición resulte extremadamente retardado y evitar su deterioro durante periodos largos de almacenamiento, manteniendo la calidad del producto. (16)

1.4.1 Factores extrínsecos

Los factores exteriores como la temperatura, tiempo de almacenamiento refrigerado e influencia atmosférica; determinan el desarrollo de la flora microbiana de un alimento.

a) Temperatura

Es el más importante de los factores externos con influencia sobre el crecimiento de los microorganismos en los alimentos, es posible su crecimiento entre los límites de $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta casi $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. (16)



b) Tiempo de almacenamiento

El tiempo de vida útil de los diversos productos congelados a diferentes temperaturas de almacenamiento varía en función a la temperatura y a las características propias del alimento.

c) Influencia atmosférica

Dentro de este grupo tenemos: humedad, tensión parcial de gases y eventualmente también acción de la luz y, sobre todo, de las radiaciones UV.

Una baja humedad relativa en la atmósfera de depósito puede provocar en artículos sin envasar deshidrataciones superficiales

La importancia de la tensión gaseosa esta relacionada con el potencial redox (valor Eh) es una magnitud que se refiere al grado de oxidación existente en un alimento. Caracteriza por tanto, la tendencia del sustrato a captar electrones (reducción) ó cederlos (oxidación); el valor Eh (potencial redox) depende de la composición química y además de la presión parcial del oxígeno del alimento, por consiguiente y de manera esencial del grado de aireación. Este valor es un importante factor de selección para el

crecimiento de microorganismos, ya sean en condiciones aerobias ó anaerobias. Las variaciones en la tensión parcial de los gases llevan consigo correspondientes modificaciones de la microflora. (16)

1.4.2 Factores intrínsecos

Los factores intrínsecos son las características físicas, químicas y bioquímicas propia del alimento. Ejercen ya en la primera fase de la obtención ó producción de un alimento una decisiva selección de determinadas especies de la flora microbiana.

a) Cambio físico en la carne del pescado

Por la causa de la actividad de fermentos y bacterias se produce un desplazamiento del equilibrio de óxido – reducción y, en consecuencia, un cambio en la concentración de iones hidrógeno libre. A medida que el pH se aleja de la neutralidad y se acerca a los límites de la alcalinidad, se inicia los procesos de descomposición. (9)

b) Factor microbiológico

Especies de Enterobacteriaceas, Clostridium y Lactobacillus especialmente el género Proteus son formadoras de histamina en el pescado(9). La histamina se produce por la descarboxilación del aminoácido L-histidina libre presente en el músculo del pescado en una reacción catalizada por la enzima histidina descarboxilasa de origen bacteriano. La bacteria Proteus morganii parece ser el mayor productor de histamina. (ver fig. 1.3)

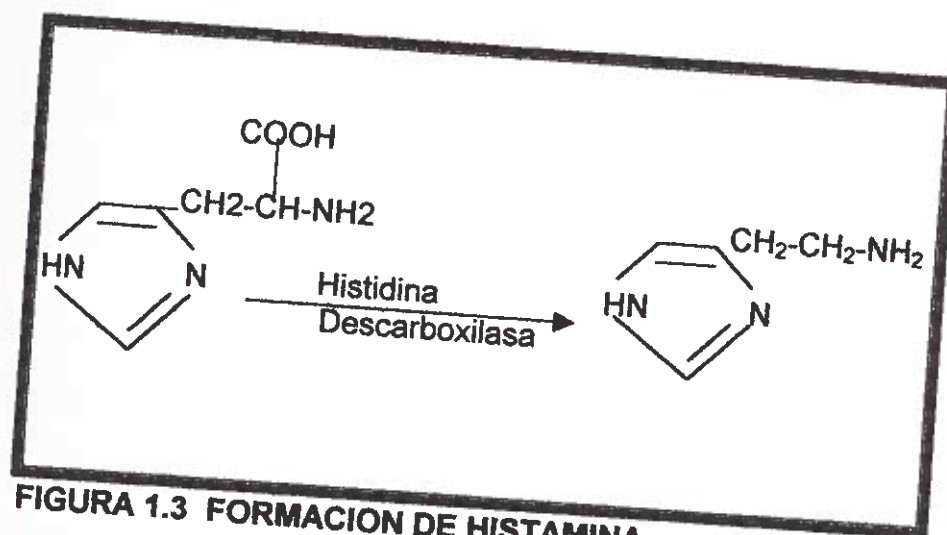


FIGURA 1.3 FORMACION DE HISTAMINA

La cantidad de histamina producida depende especialmente de L-histidina libre existente en el músculo del pescado, y se encuentra en mayores proporciones en la carne roja (atún,

caballa, arenque). Para que se produzca una intoxicación histamínica en el hombre por consumo de pescado se indican índices de histamina entre 5 - 9mg /100g de muestra pueden ocasionar síntomas leves de intoxicación en individuos susceptibles y que niveles de histamina entre 10-100 mg /100g de muestra deben ser considerados tóxicos.

c) Factores químicos y bioquímicos

Los procesos metabólicos experimentados por la descomposición de proteína muscular después de la muerte y, dependiendo de la clase y cantidad de sustancias extractivas nitrogenadas existentes como el óxido de trimetil amina (OTMA) que es una sustancia química de los músculos del pescado, que la actividad bacteriana reduce a trimetil amina (TMA), responsable a su vez de los cambios organolépticos, desagradables a la percepción sensorial, que se produce conforme avanza la descomposición (9). Así mismo ha de contarse con la aparición de indol y SH_2 (ácido sulfhídrico) en fases más avanzadas de la putrefacción. La formación de sustancias tóxicas es en sí menos el resultado de la degradación de proteínas que de la actividad específica de determinados microorganismos. Entre estas sustancias

tóxicas, incluidas bajo la designación de aminas biógenas ó biotoxinas, la histamina desempeña un papel especial. (4)

La glucosa y el glucógeno, presentes todavía en cantidades dignas de mención después de la muerte, resultan degradadas casi del todo durante los cinco primeros días del almacenamiento del producto refrigerado.

La oxidación de las grasas del pescado resulta favorecida por la existencia de numerosos enlaces dobles y triples en ácidos y alcoholes grasos; es una reacción en cadena, en la que aumenta la velocidad de la misma conforme avanza el proceso. La formación de peróxidos es la reacción principal de la fase inicial de la oxidación. Como resultado de la degradación de peróxidos se originan distintos ácidos, cetonas, aldehidos, derivados carboxílicos y productos de polimerización. Algunos de los ácidos y carbonilos confieren olor y sabor desagradables al pescado. De las reacciones químicas entre los aldehidos formados y los ácidos grasos insaturados y la trimetilamina resultan las combinaciones de tinte pardo y rojo, causantes de los cambios de color que

manifiesta la carne de los pescados grasos. La toxicidad de las combinaciones insaturadas con tendencia a la polimerización se atribuye principalmente a que en el proceso de polimerización se incluyen grupos peptídicos, por lo que se producen cambios muy serios en las proteínas celulares.

(9)

1.5 Conservación por congelación

La congelación consta de tres etapas:

- 1 Enfriamiento del producto desde la temperatura de ingreso en el congelador de túnel hasta el punto de congelación.
- 2 Extracción de calor de solidificación.
- 3 Enfriamiento del producto hasta la temperatura final.

La congelación debe su poder conservador a dos efectos:

- 1 Transformación de agua líquida en hielo, obstaculizando toda actividad enzimática.
- 2 Efecto térmico con enfriamiento de los productos tratados hasta zonas de temperatura en la que las actividades biológicas se reducen al mínimo.

En muchas situaciones de transferencia térmica interesa conocer el tiempo necesario para enfriar un alimento, la velocidad de congelación y si el pescado es congelado entero ó en filete, ya que determina la estructura macroscópica de los alimentos congelados.

a) Velocidad de congelacion

Es la velocidad lineal de avance del frente de hielo, que se desplaza hacia el interior del producto a congelar (5) 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 fino es la estructura cristalina.

La velocidad de congelación 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.



Por investigaciones realizadas en productos de mar, los sistemas de congelación se clasifican según la velocidad de avance del frente de frío de la siguiente manera:

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

b) Tiempo efectivo de congelación

Se define como el tiempo preciso para disminuir la temperatura a congelar, desde la temperatura inicial media uniforme hasta la temperatura tecnológicamente elegida, en el centro térmico. Es importante puesto que permite determinar los tiempos de mantenimiento del producto en el congelador, la cantidad de producto, dependiendo si el calor se disipa por toda la superficie ó solamente por una parte de ella y si el objeto es envuelto ó sin envolver.

Para calcular el tiempo de enfriamiento se considera: pre – refrigeración hasta el comienzo de la congelación, la congelación

propriadamente dicha, y el post - enfriamiento hasta alcanzar la temperatura final prevista.

Si el mecanismo de transferencia de calor predominante es por conducción, se pueden usar gráficas para determinar la tasa de transferencia térmica durante la congelación de alimentos de geometría diferente (prisma, cilindro ó esfera), el factor de temperatura, que es la fracción de cambio de temperatura que no se completa, viene dado por:

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

$$Fo = K t L / Cp \quad (9)$$

El número de Biot, ó relación de las tasas de transferencias térmica convectiva, viene dado por:

$$Bi = U h / K \quad (9)$$

Dependiendo del índice de Biot obtengo el coeficiente variable n que es utilizado en la fórmula del tiempo efectivo de congelación.

Para facilitar los cálculos teóricos se considero al filete de atún como un prisma con un flujo de calor tridimensional. (ver Figura 1.4)

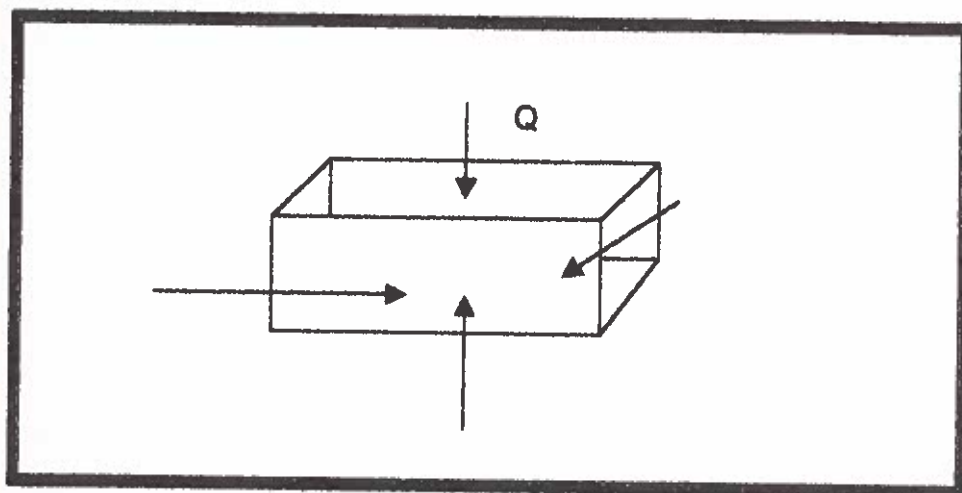


FIGURA 1.4: TRANSMISION DEL CALOR DEL FILETE DE ATUN

c) Curva de congelación

Este diagrama varía de acuerdo con los siguientes factores: método de congelación, tamaño, forma, composición química, propiedades físicas del producto y tipo de envasado (o ausencia de éste). De acuerdo con estos factores, la curva de congelación discurre más o

menos empinado o bien se desvía hacia arriba o abajo. En cada caso se pueden determinar tres etapas, que corresponden a las fases de proceso de congelación. En la Figura 1.5, tenemos desde que desde (A) hasta (B) se llama fase I o etapa de enfriamiento, desde (B) hasta (C) fase II ó zona de máxima cristalización y de (C) hasta (D) fase III ó zona de sub- enfriamiento.

En el punto (A) aproximadamente empieza el enfriamiento del pescado y termina en el punto (B). En esta fase II se elimina el calor sensible del producto, donde hay una mayor variación de temperatura. En el punto (B) el agua libre de la constitución del pescado comienza a congelarse, a una temperatura de -1 ó -2°C , también a este punto se conoce como "punto de congelación". En el punto (C) a -5°C se produce una máxima formación de los cristales de hielo.

En la fase I los microorganismos y enzimas están totalmente activas. El paso por los puntos (A) y (B) es muy importante para la buena calidad del producto. Por eso, debe hacerse en muy corto tiempo el enfriamiento cerca al punto de congelación, a fin de evitar el deterioro del pescado.

En la fase II el 80 % del agua del pescado se convierte en hielo. Esta fase, es muy importante para la formación del tipo cristales de hielo. En la fase III, se debe poner atención a que temperatura termina la congelación del pescado. Esta temperatura debe ser igual ó un poco más bajo que la de la cámara de almacenamiento (-30°C). (5).

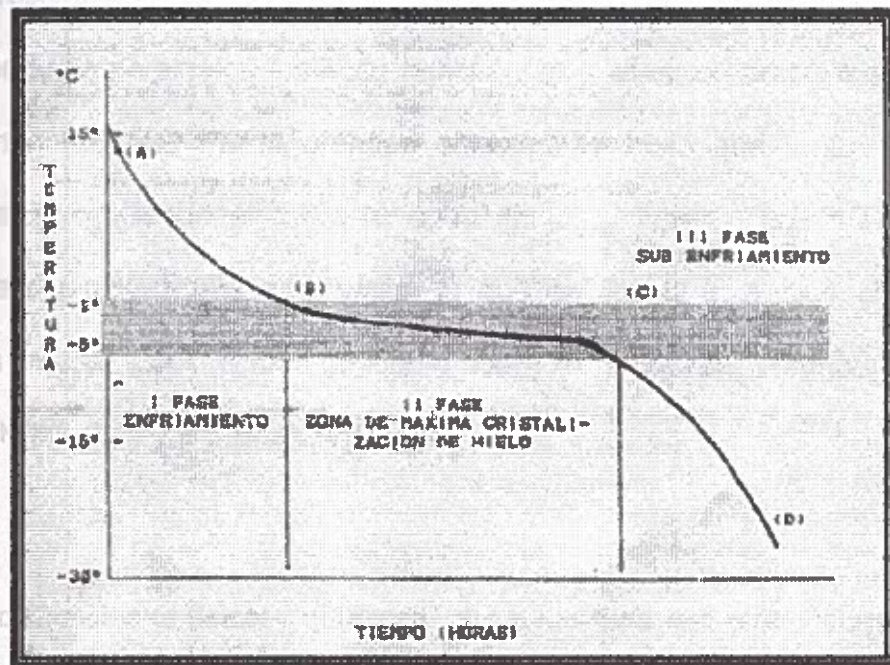


FIGURA 1.5: Curva de congelación (bibliográfico)

1.6 Influencia de los parámetros físicos, químicos y microbiológico sobre la calidad del producto congelado.

La congelación y el almacenamiento congelado motivan la desnaturalización y agregación de 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 temperaturas de almacenamiento relativamente altas; 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 aún 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 y a desnaturalizarlas.

Las modificaciones físico – químicas desfavorables son provocadas por el cambio de fase agua a hielo, estas se producen sobre todo durante la congelación y descongelación pero también se manifiesta a veces, durante el almacenamiento en estado congelado. La principal consecuencia de este proceso es el descenso de la capacidad de retención de agua, provocando la pérdida de peso, y la textura se "deshidrata".

Es esencial una buena práctica para que los cambios mencionados sean mínimos. Aunque el agua pura se congele a cero grado centígrado, en el pescado no se comienza a congelar hasta que su temperatura descienda aproximadamente -1°C .

La musculatura del pescado sólo se congela a temperaturas por bajo de 0°C . Según fuere la especie de pescado y su contenido graso, se produce entre -0.5°C y -2°C un endurecimiento mecánico del tejido que concluye, fundamentalmente a -5°C . A partir de aquí la mayor parte del agua tisular se fija en forma de hielo. Pero sucede que incluso a temperaturas por bajo de -50°C a -70°C , parte del agua continúa en estado líquido, constituyendo la base o medio de reacción donde van a desarrollarse los procesos bioquímicos, que tienen lugar en los productos congelados, a unas temperaturas tan bajas como las acabadas de mencionar. En peces magros, cuya temperatura ha descendido a -30°C , aproximadamente un 90% del agua de sus tejidos se ha congelado. Sin embargo en la práctica dicha temperatura es más que suficiente en orden de conservación por frío. Las normas promulgadas para alimentos congelados señalan una temperatura de conservación de cámaras de menos 18°C por lo menos. (5)

Capítulo 2

2. PRUEBAS EXPERIMENTALES

2.1 Materiales y métodos

Dentro de los materiales a considerar tenemos en primer lugar la materia prima en este caso el filete de atún procedente de una empresa exportadora, posteriormente será mantenido en un refrigerador comercial para proceder llevar acabo los análisis correspondiente.

Los materiales fungibles utilizados fueron:

a) Materiales de vidrio básico de laboratorio:

1. Probeta, vaso de precipitación, vidrio reloj, embudo, varilla de vidrio, Balones de destilación.
2. Desecador con silica gel

b) Los equipos y accesorios utilizados fueron:

1. Estufa Memerth de 100 - 150°C, ($\pm 2^\circ\text{C}$)
2. Mufla Memerth de 600 - 650°C $\pm 2^\circ\text{C}$
3. Balanza analítica Sartorius con capacidad de 1.500 g $\pm 0,2\text{g}$
4. Termómetro tipo aguja digital y de mercurio.
3. Extractor de grasa Soxhlet
4. Extractor kjeldahl
5. Baño de María Mermeth: regulado a 64°C $\pm 2^\circ\text{C}$
6. Termocupla tipo aguja $\pm 2^\circ\text{C}$
7. Cilindro de cobre de 1,5 cm de ancho y 15 cm de alto.
8. Calorímetro de tubo y tapa aislado.

2.2 Determinación de la composición química proximal.

(Análisis proximal)

En la tabla III y IV, presenta el valor promedio mensual de la composición química proximal en base húmeda de las muestras de filete de atún fresco: *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*. Se utilizó métodos establecidos por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC).



2.2.1 Humedad

Método A.O.A.C 118.006 (desde 1976)

Se determinó el contenido de humedad por deshidratación de la muestra. (Ver anexo A)

2.2.2 Proteína

Método Kjeldahl

Método AOAC 984.13 (primera revisión 1984)

Se determinó por titulación la cantidad de nitrógeno presente. (Ver anexo B)

2.2.3 Grasa

Método AOAC 920.39

Se determinó el porcentaje de extracto etéreo presente en la muestra. (Ver anexo C)

2.2.4 Ceniza

Método AOAC 942.05

Se determinó por incineración de la muestra. (Ver anexo D)

TABLA III

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIA DEL *THUNNUS ALBACARES*

Mes:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Humedad	79,45%	79,52%	79,50%	79,57%
Proteína	18,95%	18,88%	18,91%	18,89%
Cenizas	1,22%	1,25%	1,23%	1,25%
Grasa	0,25%	0,23%	0,24%	0,23%
Carbohidrato*	0,13%	0,12%	0,12%	0,12%

TABLA IV

COMPOSICIÓN QUÍMICA PROMEDIA DEL *KATSUWONUS PELAMIS*

Mes:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Humedad	79,43%	79,40%	79,41%	79,42%
Proteína	18,92%	18,94%	18,93%	18,92%
Ceniza	1,28%	1,30%	1,29%	1,28%
Grasa	0,23%	0,22%	0,22%	0,23%
Carbohidrato*	0,14%	0,14%	0,15%	0,15%

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

Todas las muestras se analizaron por triplicado
*Se determino por diferencia.

Una gráfica que nos resume el comportamiento de las especies estudiadas

(*Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*) es:

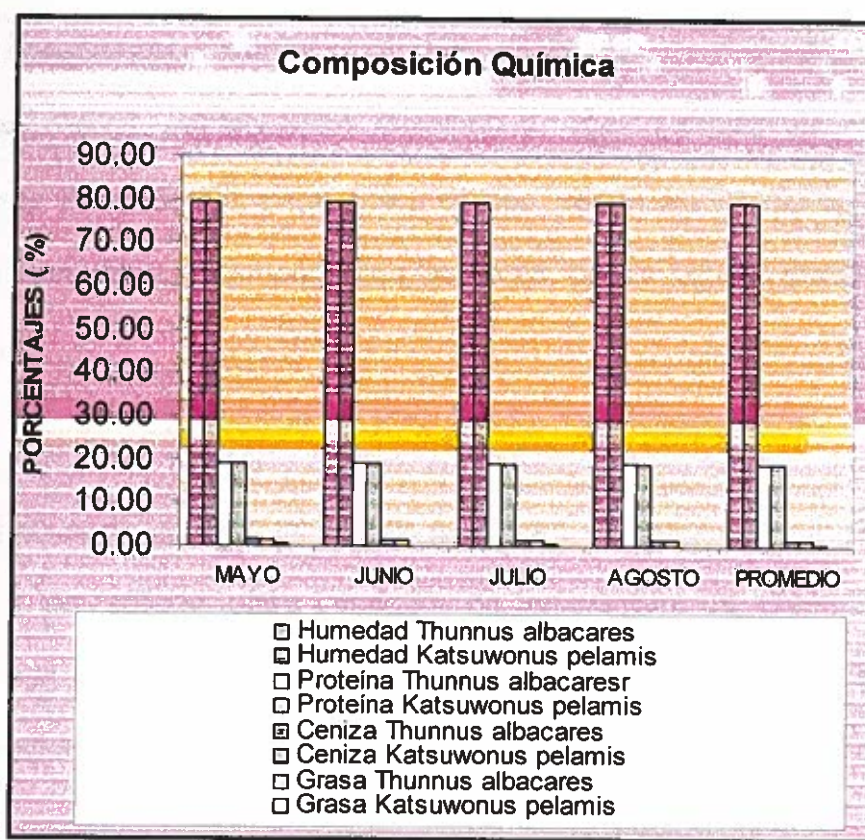


FIGURA 2.6: Composición Química Proximal

Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.3 Cálculo teórico de propiedades físicas en producto fresco utilizando

la composición química de referencia 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 una ecuación matemática para predecir las propiedades físicas de productos alimenticios sólidos, según las fracciones en peso o volumen de los componentes mayores puros: agua, grasa, proteína, ceniza.

Las ecuaciones de la tabla V 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 ecuaciones matemáticas 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.

Se observó en este estudio el efecto de la temperatura en las propiedades térmicas de los componentes sólidos 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.

TABLA V
ECUACIONES MATEMATICAS GENERALES DE CHOI & OKOS PARA
CALCULAR PROPIEDADES FISICAS DE ALIMENTOS (4)

Densidad (Kg / m ³)	$\rho = 1 / [\Sigma (X_i / \rho_i)]$
Calor específico (KJ/kg°C)	$C_p = \Sigma (C_{p_i} X_i)$
Difusividad térmica (m ² /s)	$\alpha = \Sigma (\alpha_i X_{iv})$ $X_{iv} = (X_i / \rho_i) / [\Sigma (X_i / \rho_i)]$
Conductividad térmica (W/m°C)	$K = \Sigma (K_i X_{iv})$

2.3.1 Densidad

Para determinar la densidad teórica de producto fresco se usa la ecuación general descrita en la tabla V, para lo cual se necesitan los siguientes valores:

1. El valor de 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 , ceniza X_C y carbohidrato X_{Ch} .
2. El valor de la densidad de cada uno de los componentes químicos (ρ_i) a 24°C incluyendo la del agua, a partir de la ecuación propuesta por Choi & Okos.
3. Calcular la fracción X_i / ρ_i de cada uno de los componentes: agua X_H / ρ_{agua} , proteína X_P / ρ_P , grasa X_G / ρ_G , ceniza X_C / ρ_C y carbohidrato X_{Ch} / ρ_{Ch} .
4. Aplicar la ecuación general de la densidad descrita en la tabla V.

Ejemplo:

Cálculo 1: Densidad teórica para el filete del *Thunnus albacares* a 24°C

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

1. Fracción másica (X_i)

$$X_H = 79,45 / 100 = 0,7945$$

$$X_P = 18,95 / 100 = 0,1895$$

$$X_G = 0,25 / 100 = 0,0025$$

$$X_C = 1,22 / 100 = 0,0122$$

$$X_{Ch} = 0,13 / 100 = 0,0013$$

2. Densidad de cada uno de los componentes (ρ_i)

$$\rho_{agua} = 9,9718 \times 10^2 + 3,1439 \times 10^{-3}(24) - 3,7574 \times 10^{-3}(24)^2 = 995,091 \text{ Kg/m}^3$$

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

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

$$\rho_F = 1,311 \times 10^3 - 3,6589 \times 10^{-1}(24) = 1302,22 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$\rho_{CH} = 1,5991 \times 10^3 - 2,1046 \times 10^{-1}(24) = 1594,05 \text{ Kg/m}^3$$

3. Fracción X_i / ρ_i :

$$X_H / \rho_{agua} = 0,7945 / 995,0912 = 7,984 \times 10^{-4}$$

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

$$X_G / \rho_G = 0,0025 / 915,57 = 2,730 \times 10^{-6}$$

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

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

$$X_{CH} / \rho_{CH} = 0,0013 / 1594,05 = 8,15 \times 10^{-7}$$

$$X_F / \rho_F = 0 / 1302,22 = 0$$

4. Aplicación de la fórmula general tabla V

$$\Sigma X_i / \rho_i = 0,000951201$$

$$\rho = 1 / 0,000951201$$

$$\rho = 1051,302 \text{ Kg/m}^3$$

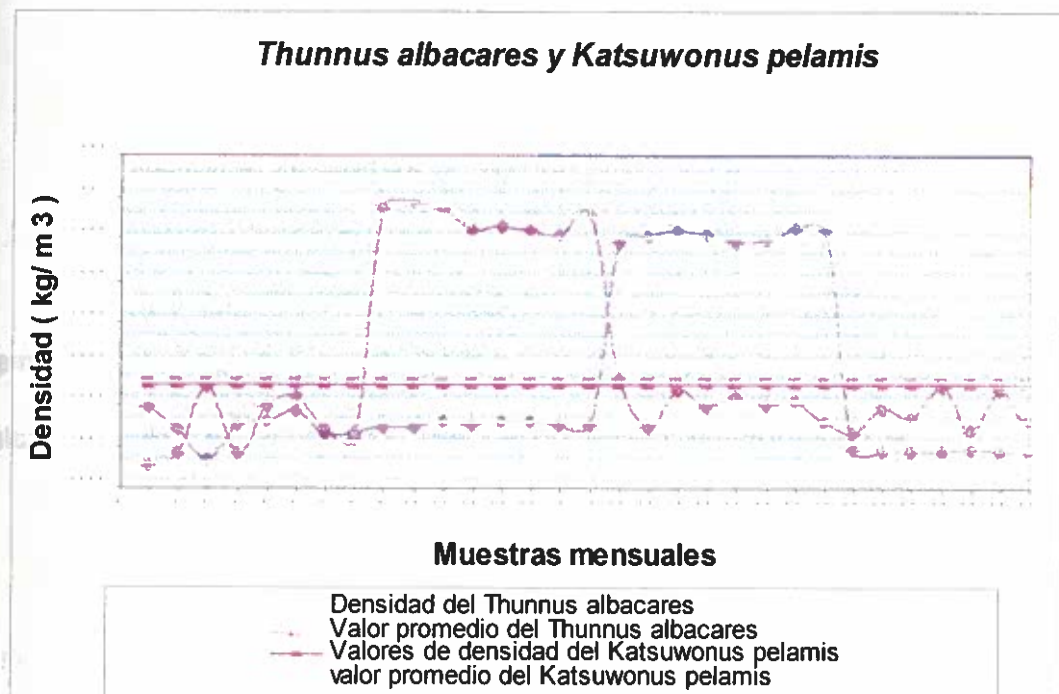


FIGURA 2.7: Densidad Teórica a 24 °C

Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.3.2 Calor específico

Para calcular el calor específico teórico de producto fresco se usa la ecuación general, descrita en la tabla V, para lo cual se necesitan los siguientes valores:

1. El valor de la fracción másica de cada uno de los componentes (X_i) basado en su contenido nutricional.
2. El valor del calor específico de cada uno de los componentes (C_{pi}) a 24°C incluyendo la del agua a partir de la ecuación propuesta por Choi & Okos.
3. Se multiplica la fracción másica de cada uno de los componentes (X_i) con su respectivo calor específico (C_{pi}) y se aplica la ecuación general de la densidad descrita en la tabla V.

Ejemplo:

Cálculo 2: Calor específico del filete de *Thunnus albacares* a 24°C

$$C_p = \sum C_{pi} X_i \quad (3)$$

1. Fracción másica (X_i)

$$X_H = 79,45 / 100 = 0,7945$$

$$X_P = 18,95 / 100 = 0,1895$$

$$X_G = 0,25 / 100 = 0,0025$$

$$X_c = 1,22 / 100 = 0,0122$$

$$X_{ch} = 0,13 / 100 = 0,0013$$

2. Calor específico de cada uno de los componentes (C_{p_i})

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

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

$$C_{p_C} = 1,0926 + 1,8896 \times 10^{-3}(24) - 3,6817 \times 10^{-6}(24)^2 = 1,13582$$

$$C_{p_F} = 1,8459 + 1,8306 \times 10^{-3}(24) - 4,8509 \times 10^{-6}(24)^2 = 1,88704$$

$$C_{p_{CH}} = 1,5388 + 1,9625 \times 10^{-3}(24) - 4,8509 \times 10^{-6}(24)^2 = 1,58310$$

$$C_{p_{agua}} = 4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5}(24) + 5,4731 \times 10^{-6}(24)^2 = 3,96128$$

3. Aplicación de la fórmula general:

$$C_p = 2,03646 (0,1895) + 2,01679 (0,0025) + 1,13582 (0,0122) + 1,88704$$

$$(0) + 1,58310 (0,0013) + 3,96128 (0,7945)$$

$$C_p = 3,727 \text{ KJ / kg } ^\circ\text{C}$$



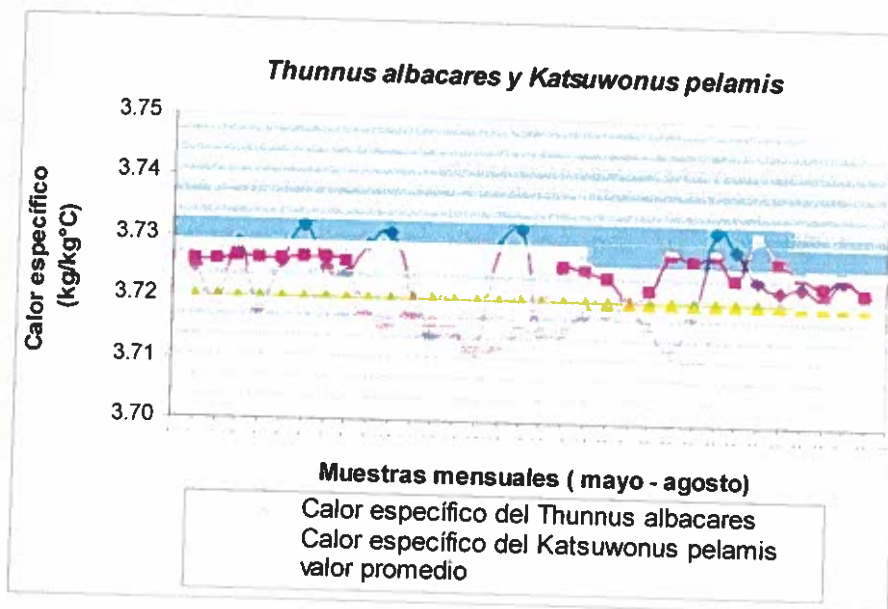


FIGURA 2.8: Calor Específico Teórico a 24°C
 Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.3.3 Difusividad térmica

Para calcular la difusividad térmica teórica de producto fresco se usa la ecuación general descrita en la tabla V, para lo cual se necesitan los siguientes valores:

1. El valor de la difusividad térmica de cada uno de los componentes (α_i) a 24°C incluyendo la del agua.
2. Sumar la fracción (X_i / ρ_i) de cada uno de los componentes.
3. Calcular el valor de X_{iv} , dividiendo la fracción volumétrica de cada uno de los componentes para el resultado obtenido en el paso 2.

4. Aplicación de la fórmula de la difusividad térmica descrita en la tabla V.

Estos valores deben ser divididos por 10^6 con el propósito de expresarlos en m^2/s .

Ejemplo:

Cálculo 3: Difusividad térmica del filete del *Thunnus albacares* a $24^\circ C$

$$\alpha = \Sigma(\alpha_i) \text{ (Xiv) (3)}$$

1. Calcular la difusividad térmica teórica de cada uno de los componentes (α_i)

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

$$\alpha_{\text{agua}} = 1,4529 \times 10^{-7}$$

$$\alpha_{\text{Ch}} = [8,0842 \times 10^{-2} + 5,3052 \times 10^{-4}(24) - 2,3218 \times 10^{-6}(24)^2] / 10^6$$

$$\alpha_{\text{Ch}} = 9,224 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_{\text{F}} = [7,3976 \times 10^{-2} + 5,1902 \times 10^{-4}(24) - 2,2202 \times 10^{-6}(24)^2] / 10^6$$

$$\alpha_{\text{F}} = 8,515 \times 10^{-8}$$

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

$$\alpha_{\text{G}} = 9,5883 \times 10^{-9}$$

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

$$\alpha_p = 7,928 \times 10^{-8}$$

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

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

2. Suma de la fracción (X_i / p_i)

$$\Sigma (X_i / p_i) = 0,1895/1317,46 + 0,0025/915,57 + 0,0015/1594,05 + \\ 0,0125/2417,06 + 0,7946/995,091$$

$$\Sigma (X_i / p_i) = 9,512 \times 10^{-4}$$

4. Calcula el valor X_{iv} de los componentes:

$$X_{iv} = [X_i / p_i] / \Sigma (X_i / p_i)$$

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

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

$$X_{Ch} = 0,0013 / 1594,05 = 8,15 \times 10^{-7}$$

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

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

$$\Sigma (X_i / p_i) = 9,512 \times 10^{-4}$$

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

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

$$X_{Chv} = [8,15 \times 10^{-7}] / 9,512 \times 10^{-4} = 8,874 \times 10^{-4}$$

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

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

5. Aplicación de la fórmula

$$\alpha = (7,928 \times 10^{-8})(0,1512) + (9,5883 \times 10^{-9})(2,87 \times 10^{-3}) + (9,224 \times 10^{-8})(9,893 \times 10^{-4}) + (1,3286 \times 10^{-7})(5,437 \times 10^{-3}) + (1,4529 \times 10^{-7})(0,8395)$$

$$\alpha = 1,347 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

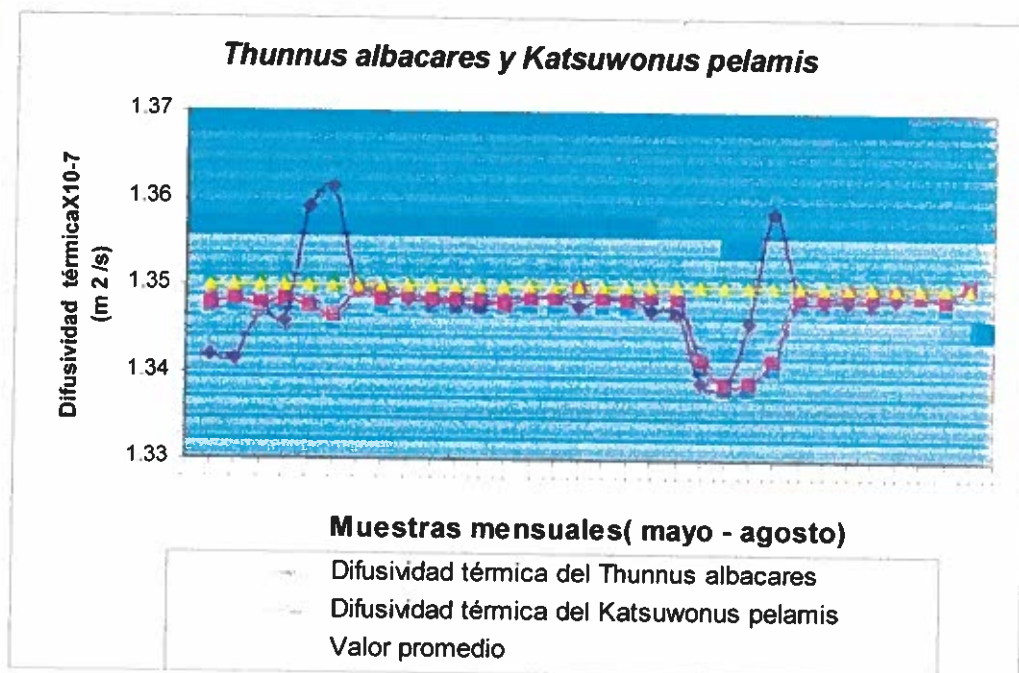


FIGURA 2.9: Difusividad térmica teórica a 24°C
Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.3.4 Conductividad térmica

Para calcular la conductividad térmica teórica del producto fresco se usa la ecuación general descrita en la tabla V, para lo cual se necesitan los siguientes valores:

1. Calcular la conductividad térmica de cada uno de los componentes (K_i) a 24°C incluyendo la del agua.
2. El valor X_{iv} se calcula similar al de la difusividad.
3. Aplicación de la fórmula de la conductividad térmica descrita en la tabla V.

Ejemplo:

Cálculo 4: Conductividad térmica del filete de *thunnus albacares* a 24°C

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

1. Conductividad térmica teórica de cada uno de los componentes (K_i):

$$K_p = 1,7881 \times 10^{-1} + 1,1958 \times 10^{-3}(24) - 2,7178 \times 10^{-6}(24)^2 = 0,20594$$

$$K_G = 1,8071 \times 10^{-1} - 2,7604 \times 10^{-3}(24) - 1,7749 \times 10^{-7}(24)^2 = 0,11435$$

$$K_F = 1,8331 \times 10^{-1} + 1,2497 \times 10^{-3}(24) - 3,1683 \times 10^{-6}(24)^2 = 0,21148$$

$$K_C = 3,2962 \times 10^{-1} + 1,4011 \times 10^{-3}(24) - 2,9069 \times 10^{-6}(24)^2 = 0,36157$$

$$K_{Ch} = 2,0141 \times 10^{-1} + 1,3874 \times 10^{-3}(24) - 4,3312 \times 10^{-6}(24)^2 = 0,23470$$

$$K_{agua} = 5,7109 \times 10^{-1} + 1,7625 \times 10^{-3}(24) - 6,7036 \times 10^{-6}(24)^2 = 0,60952$$

2. Calcular el valor X_{iv} de cada uno de los componentes:

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

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

$$X_{Ch} = 0,0013 / 1594,05 = 8,15 \times 10^{-7}$$

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

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

$$\Sigma (X_i / p_i) = 9,512 \times 10^{-4}$$

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

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

$$X_{Chv} = [8,15 \times 10^{-7}] / 9,512 \times 10^{-4} = 8,874 \times 10^{-4}$$

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

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

3. Aplicación de la fórmula:

$$K = (0,20594)(0,15122) + (0,11435)(2,870 \times 10^{-3}) + (0,23470)(8,574 \times 10^{-4}) + \\ (0,36157)(5,306 \times 10^{-3}) + (0,60952)(0,8394) + (0,21148)(0)$$

$$K = 0,552 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

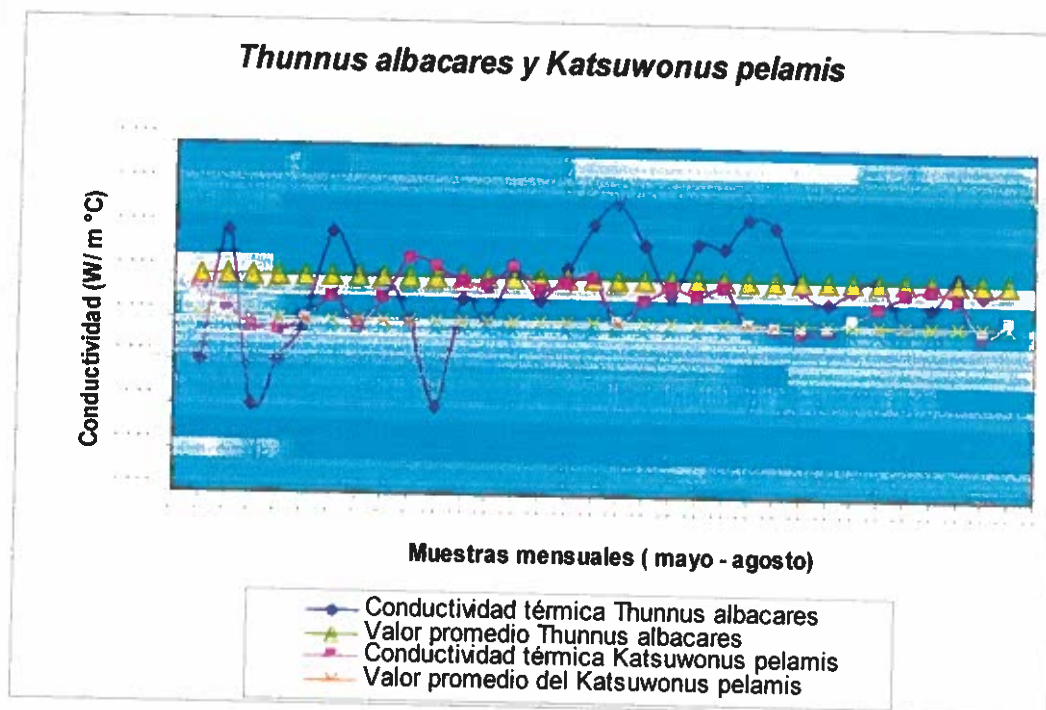


FIGURA 2.10: Conductividad térmica teórica a 24°C
Elaborado por: Tannya Cobo M.

a.- Resultados teóricos promedio de las propiedades físicas.

Las propiedades físicas teóricas de los meses mayo – agosto, fueron calculadas de la misma manera como se detalla en los ejemplos de cálculo 1, 2, 3 y 4.

A continuación tenemos los resultados de los valores promedios mensuales.

TABLA VI
VALORES PROMEDIO DEL THUNNUS ALBACARES

Meses	Densidad (kg/m ³)	Calor específico KJ/kg°C	Difusividad térmica m ² /s	Conductividad térmica W/m°C
Mayo	1.051,56	3,726	1,347x10 ⁻⁷	0,552
Junio	1.051,54	3,727	1,347x10 ⁻⁷	0,552
Julio	1.056,07	3,715	1,350x10 ⁻⁷	0,553
Agosto	1.050,89	3,729	1,347x10 ⁻⁷	0,552

TABLA VII
VALORES PROMEDIO DEL KATSUWONUS PELAMIS

Meses	Densidad (kg/m ³)	Calor específico KJ/kg°C	Difusividad térmica m ² /s	Conductividad térmica W/m°C
Mayo	1.051,26	3,727	1,3471x10 ⁻⁷	0,552
Junio	1.056,34	3,714	1,3490x10 ⁻⁷	0,553
Julio	1.052,07	3,724	1,3470x10 ⁻⁷	0,552
Agosto	1.051,97	3,724	1,347x10 ⁻⁷	0,552

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

2.4 Determinación experimental de propiedades físicas en productos frescos.

Se analizaron ocho muestras de filete de atún sin piel a temperatura de 24°C, durante los meses de mayo, junio, julio, agosto. A continuación se detallan los procedimientos experimentales, y las ecuaciones usadas (ver tabla VIII).

TABLA VIII
ECUACIONES USADAS PARA CALCULAR LAS PROPIEDADES
FÍSICAS EXPERIMENTALES

Densidad (Kg / m ³) (11)	$\rho = M_s / (V_f - V_i)$
Calor específico (KJ/kg°C) (2)	$C_p = (C_{p_a})(M_w)(T_w - T_e) / M_s (T_e - T_w)$
Difusividad térmica (m ² /s) (2)	$\alpha = (0,3988 r^2) / f$
Conductividad térmica (W/m°C) (2)	$K = \rho C_p \alpha$

2.4.1 Densidad

La densidad de una sustancia sólida en $[\text{kg}/\text{m}^3]$, se define como la masa de las partículas sólidas dividida entre el volumen de las partículas. (11)

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 210 ml de agua destilada a la misma temperatura de la muestra, y se observa la variación de volúmenes, y se aplica la ecuación general para obtener el valor de la densidad presentada en la tabla VIII.

Ejemplo:

Cálculo 5: Densidad experimental de filete sin piel del *Thunnus albacares*.

$$\rho = M_s / (V_f - V_i)$$

Datos:

Temperatura = 18°C

$M_s = 20,06$ gr

$V_f = 210$ ml

$V_i = 228,8$ ml

$$\rho = 20,06 / (228,8 - 210) = 1,06702 \text{ g / ml}$$

$$\rho = 1.067,02 \text{ kg / m}^3$$

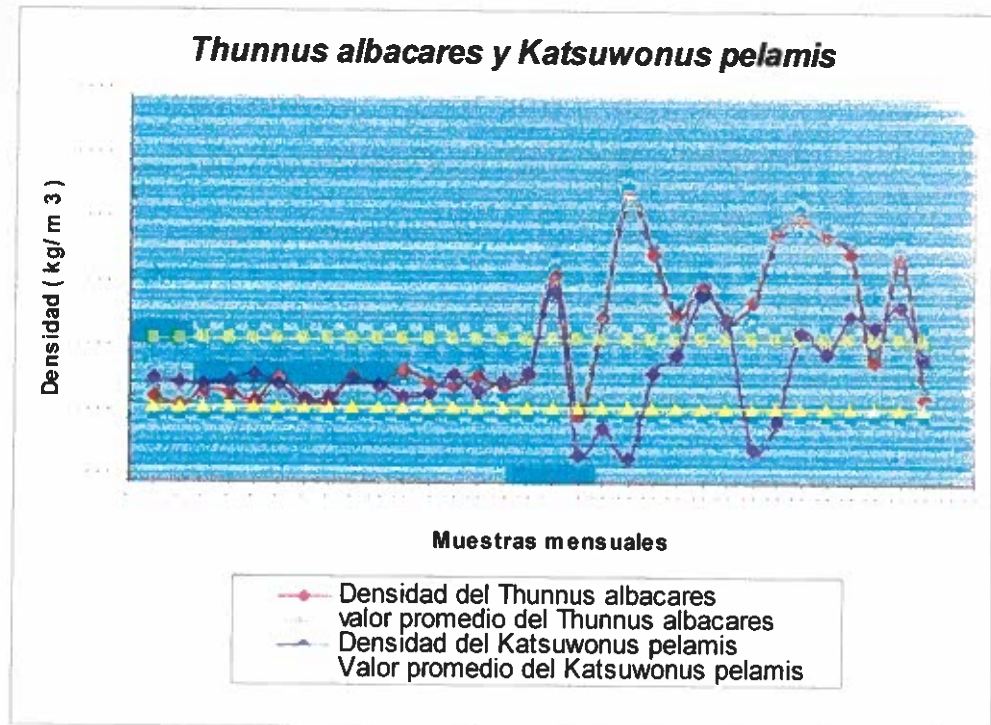


FIGURA 2.11: Densidad experimental
Elaborado por: Tannya Cobo M.

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 $J/ kg \text{ } ^\circ K$ que también es equivalente a $J/ kg \text{ } ^\circ C$. (2)

Método

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

1. Calibración del calorímetro. (ver cálculo 6)
2. Temperatura del agua caliente entre 68.5 - 69.5 °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

Primero se va a calibrar el equipo, 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, para aplicar la ecuación general de calor específico descritas en la tabla VIII.

Luego para el filete de atún, colocar de igual manera una masa conocida de muestra y agua destilada caliente en el calorímetro, registrar las temperaturas iniciales y de equilibrio

respectivamente, para calcular el Calor específico de la muestra se utiliza la misma ecuación anterior.

Ejemplo:

Cálculo 6: Calibración del equipo con agua destilada

$$C_p = [C_{p_{wc}} M_{wc} \rho_{wc} (T_{wc} - T_e)] / [m_{wf} \rho_{wf} (T_e - T_{wf})]$$

TABLA IX

DATOS PARA LA CALIBRACION DEL CALORIMETRO

DATOS	R1	R2
Cp del agua caliente (Cal / g °C)	0,97	0,96
Masa agua fría (g)	50	50
Masa de agua caliente (g)	51	50
Temperatura de agua fría (°C)	19	19
Temperatura de agua caliente (°C)	60	59,9
Temperatura de equilibrio (°C)	39,8	39,8

R1

$$C_p = [0,97(50)(0,9832)(60 - 39,8)] / [50(0,99838)(39,8 - 19)]$$

$$C_p = 0,92783558 \text{ Cal / g}^\circ\text{C}$$

R2

$$C_p = [0,96(50)(0,98325)(59,9 - 39,8)] / [50(0,99838)(39,8 - 19)]$$

$$C_p = 0,91377084 \text{ Cal / g}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ promedio} = (0,92783558 + 0,91377084) / 2$$

$$C_p \text{ promedio} = 0,92080321$$

Cálculo 7: Calor específico del filete sin piel del *Thunnus albacares*.

$$C_p = (C_{p_x})(M_w)(T_w - T_e) / M_s (T_e - T_s)$$

Donde:

C_{p_x} = calor específico promedio de calibración

TABLA X
DATOS PARA CALCULAR EL CALOR ESPECIFICO
EXPERIMENTAL

DATOS	M 1
Temperatura agua (°C)	59,4
Temperatura de muestra (°C)	6,8
Temperatura de equilibrio (°C)	36,9
Masa de agua (g)	50
Masa de muestra (g)	49,39
ρ del agua caliente	0,9835

$$C_p = [(0,92080321)(50)(0,9835)(59,4 - 36,9)] / [49,39(36,9 - 6,8)]$$

$$C_p = (0,685311 \text{ Cal / g } ^\circ\text{C}) (4,18) (1000)$$

$$C_p = 2.864,6 \text{ kJ / kg } ^\circ\text{C}$$

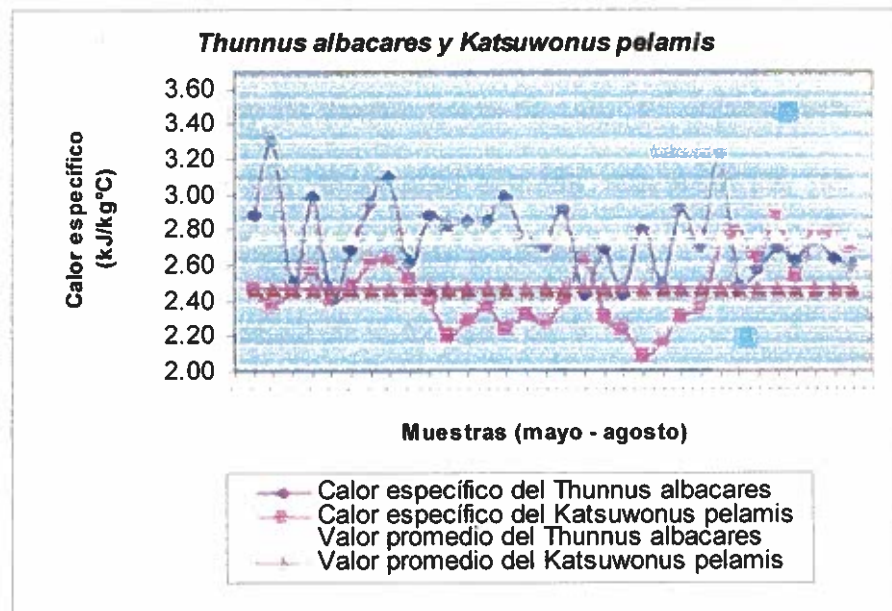


FIGURA 2.12: Calor específico experimental
Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.4.3 Difusividad térmica

La difusividad térmica de un alimento se define como la razón entre la conductividad térmica y la capacidad calórica volumétrica. Físicamente se refiere a la capacidad de un material para conducir calor ó almacenar calor, es muy importante para todos los procesos en estado no estacionario. Los valores deben ser divididos para 10^6 con el propósito de expresarlos en m^2/s .

(2)

Método

Es el método de transferencia de calor en estado variable se va a determinar la difusividad térmica, manteniendo las siguientes condiciones para todas las pruebas:

1. Temperatura de la muestra de 5 °C.
2. Temperatura del agua del baño maría de $64 \pm 1^\circ \text{C}$.
3. Agitación constante del agua.
4. Usar cilindros de cobre infinitos, los cuales deben estar completamente sumergidos en el agua.

Fundamento

Utilizando cilindros de cobre con geometría infinita, se procedió a obtener el factor de calentamiento f , mediante el estudio de la penetración de calor en la muestra.

Procedimiento

Colocar el filete sin piel de atún en dos cilindros largos de cobre de dimensiones conocidas, con la precaución de no dejar espacios con aire; cerrar los extremos e introducir un termopar tipo aguja por el eje central y en forma exacta hasta el centro del cilindro; registrar la temperatura que debe ser estable. Introducir



los cilindros en el agua de un baño termostático con agitación previamente estabilizado a una temperatura 64°C. Leer la temperatura a intervalos de 30 segundos y graficar.

La graficación de la historia de temperaturas es en escala semi logarítmica, colocando en las ordenadas la temperatura y en abcisas el tiempo, entonces el factor de calentamiento f es numéricamente igual al tiempo necesario para que la porción recta de la línea, atraviere una escala logarítmica, después de hallar el factor de calentamiento se aplica la fórmula de la difusividad experimental, descrita en la tabla VII.

Ejemplo:

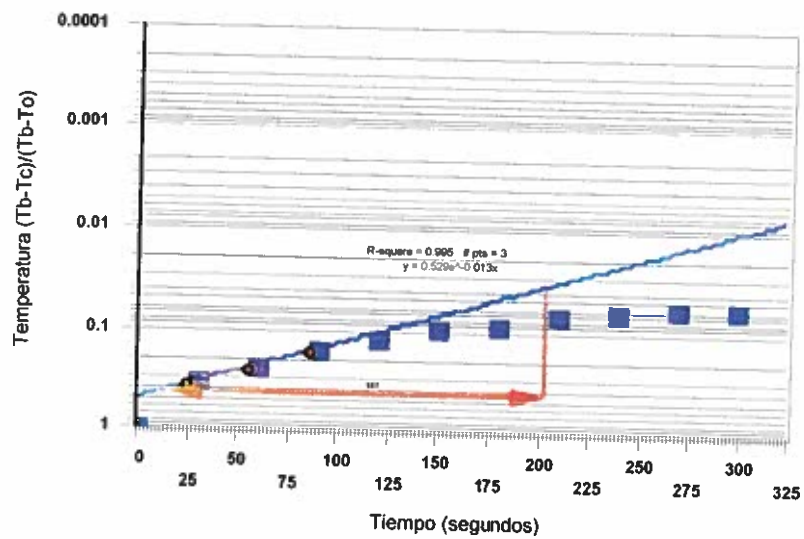
Cálculo 8: Difusividad térmica experimental del filete sin piel del *thunnus albacares*

$$\alpha = 0,398 r^2 / f \quad (2)$$

**TABLA XI
HISTORIA DE TEMPERATURA (°C)**

Tiempo (s)	M 1	Temperatura del baño
0	5,00	65
30	43,81	65
60	49,98	65
90	55,28	65
120	57,17	65
150	58,95	65
180	59,36	65
210	60,53	65
240	60,93	65
270	61,25	65
300	61,34	65

Thunnus albacares



**FIGURA 2.13: FACTOR DE CALENTAMIENTO (*f*)
(Hoja semilogaritmica)**

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

Valor f :

f para M1 = 187

$D = 0,551 \text{ pulg} = 0,013995 \text{ m}$

$$\alpha = [0,398 (0,013995 / 2)^2] / 187$$

$$\alpha = 1,04 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

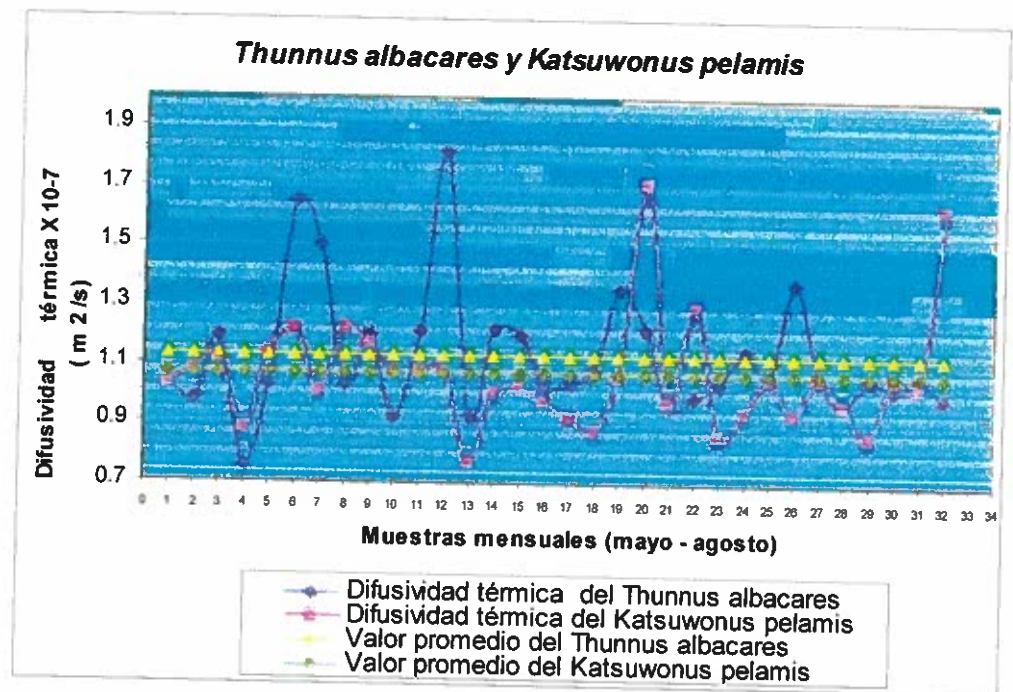


FIGURA 2.14: Difusividad térmica experimental
 Elaborado por: Tannya Cobo M.

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 en ese material, esto siempre y cuando exista una gradiente de temperatura. Sus unidades son: $J/ s m^{\circ}C = W / m^{\circ}C$ (2)

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 VIII.

P.A.S

Ejemplo:

Cálculo 9: Valor de conductividad térmica para el filete sin piel del *thunnus albacares*.

$$k = (\alpha)(\rho)(Cp) = W/ m \text{ } ^\circ C \quad (2)$$

Datos

$$Cp = 2,8517 \text{ kJ/ kg } ^\circ C$$

$$\alpha = 1,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\rho = 1065,77 \text{ kg/m}^3$$

$$k = (1.065,77)(2,8517)(1,15 \times 10^{-7})$$

$$k = 0,349 \text{ W/ m}^\circ C$$

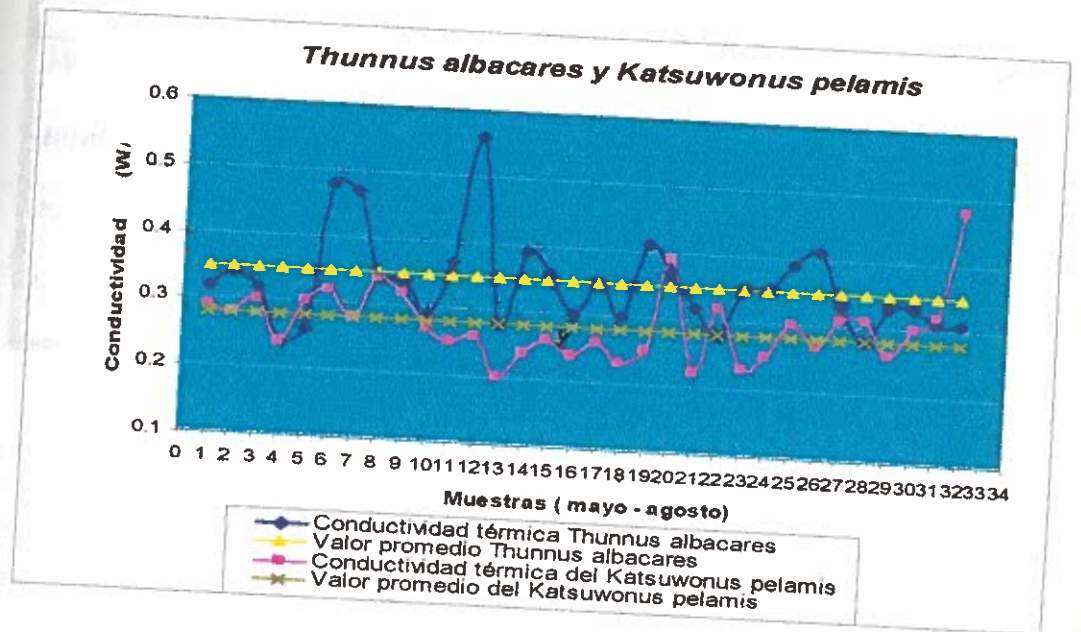


FIGURA 2.15: Conductividad Térmica Experimental
Elaborado por: Tannya Cobo M.

a.- Resultados experimentales promedios

Las pruebas experimentales de los meses estudiados fueron realizadas de la misma manera como se detalla en los ejemplos del cálculo 5, 6, 7, 8 y 9. A continuación tenemos los resultados promedios mensuales.

TABLA XII
VALORES EXPERIMENTALES PROMEDIO DEL THUNNUS
ALBACARES

Meses	Densidad (kg/m ³)	Calor específico KJ/kg°C	Difusividad térmica m ² /s	Conductividad térmica W/m°C
Mayo	1.065,77	2,8517	1,15x10 ⁻⁷	0,349
Junio	1.080,80	2,8078	1,19x10 ⁻⁷	0,361
Julio	1.152,38	2,6786	1,11x10 ⁻⁷	0,343
Agosto	1.149,86	2,700	1,08x10 ⁻⁷	0,335

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

TABLA XIII
VALORES EXPERIMENTALES PROMEDIO DEL KATSUWONUS
PELAMIS

Meses	Densidad (kg/m ³)	Calor específico Kj/kg°C	Difusividad térmica m ² /s	Conductividad térmica W/m°C
Mayo	1.076,51	2,5010	1,12x10 ⁻⁷	0,302
Junio	1.076,80	2,3250	1,07x10 ⁻⁷	0,268
Julio	1.095,74	2,3221	1,08x10 ⁻⁷	0,275
Agosto	1.097,24	2,7191	1,112x10 ⁻⁷	0,332

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

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 filete sin piel del atún a partir de la composición química proximal de las tablas II y III, 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 temperatura 0 a -40 °C. La densidad y el calor específico de las muestras fueron medidos con un picnómetro volumétrico y un calorímetro diferencial de rastreado respectivamente. Los valores experimentales obtenidos fueron usados para desarrollar ecuaciones matemáticas generales con las fracciones de los pesos de los componentes principales de los alimentos.

En general, los métodos ó técnicas utilizadas para medir las propiedades físicas de los alimentos congelados no son diferentes de métodos usados para alimentos congelados pero se debe conocer que en la difusividad es importante la fracción de agua no congelada basada en el peso molecular a una temperatura dada durante la congelación del alimento. Por lo tanto, las propiedades físicas de diversos alimentos congelados pueden ser pronosticadas como función de la temperatura entre - 40°C y el punto de congelación inicial del producto.

TABLA XIV
DIFUSIVIDAD TERMICA A TEMPERATURA MENOR A 0°C

$\alpha = \Sigma (\alpha_i X_{iv})$	
FACTOR DE HUMEDAD	$FHD = (W_{agua} \Sigma B e^A) / (1 - e^A)$ $A = [(232.600 W_{agua}) / 8.314] [1/t_o - 1/t_i]$ $\Sigma B = B_p + B_G + B_C$ $B_p = X_p/W_p$ $B_G = X_G/W_G$ $B_C = X_C/W_C$
FRACCION DE HIELO	$FHI = X_H - FHD$

Donde:

W_{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)

W_{ch} = peso molecular del carbohidrato (30.000 g)

2.5.1 Densidad

Para determinar la densidad teórica a -18°C se utiliza la ecuación general descrita en la tabla V, para ellos se necesita conocer los siguientes valores:

1. 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 , ceniza X_C y carbohidrato X_{Ch} .
2. El valor de la densidad de cada uno de los componentes químicos a -18°C incluyendo la del hielo a partir de la ecuación propuesta por Choi & Okos.
3. Calcular la fracción X_i / ρ_i de cada uno de los componentes: agua $X_H / \rho_{\text{hielo}}$, proteína X_P / ρ_P , grasa X_G / ρ_G , ceniza X_C / ρ_C y carbohidrato X_{Ch} / ρ_{Ch} .
4. Aplicar la ecuación general de la densidad descrita en la tabla V.

Ejemplo:

Cálculo 10: Densidad teórica para el filete del *Thunnus albacares* a -18°C

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

1. Fracción másica (X_i)

$$X_H = 79,45 / 100 = 0,7945$$

$$X_P = 18,95 / 100 = 0,1895$$

$$X_G = 0,25 / 100 = 0,0025$$

$$X_C = 1,22 / 100 = 0,0122$$

$$X_{Ch} = 0,13 / 100 = 0,0013$$

2. Densidad de cada uno de los componentes (ρ_i)

$$\rho_{H_2O} = 916,89 + 0,13071(-18) = 919,242 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$\rho_G = 9,2559 \times 10^2 - 4,1757 \times 10^{-1}(-18) = 933,106 \text{ Kg/m}^3$$

$$\rho_F = 1,311 \times 10^3 - 3,6589 \times 10^{-1}(-18) = 1317,586 \text{ Kg/m}^3$$

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

$$\rho_{Ch} = 1,5991 \times 10^3 - 2,1046 \times 10^{-1}(-18) = 1604,688 \text{ Kg/m}^3$$

3. Fracción X_i / ρ_i :

$$X_H / \rho_{H_2O} = 0,7945 / 919,242 = 8,644 \times 10^{-4}$$

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

$$X_G / \rho_G = 0,0025 / 933,106 = 2,6792 \times 10^{-6}$$

$$X_C / \rho_C = 0,0122 / 2428,851 = 5,1465 \times 10^{-6}$$

$$X_{Ch} / \rho_{Ch} = 0,0013 / 1604,688 = 9,3476 \times 10^{-7}$$

$$X_f / \rho_f = 0 / 1302,22 = 0$$

4. Aplicación de la fórmula general tabla V

$$\Sigma X_i / \rho_i = 0,001014172$$

$$\rho = 1 / 0,001014172$$

$$\rho = 986,026 \text{ Kg/m}^3$$

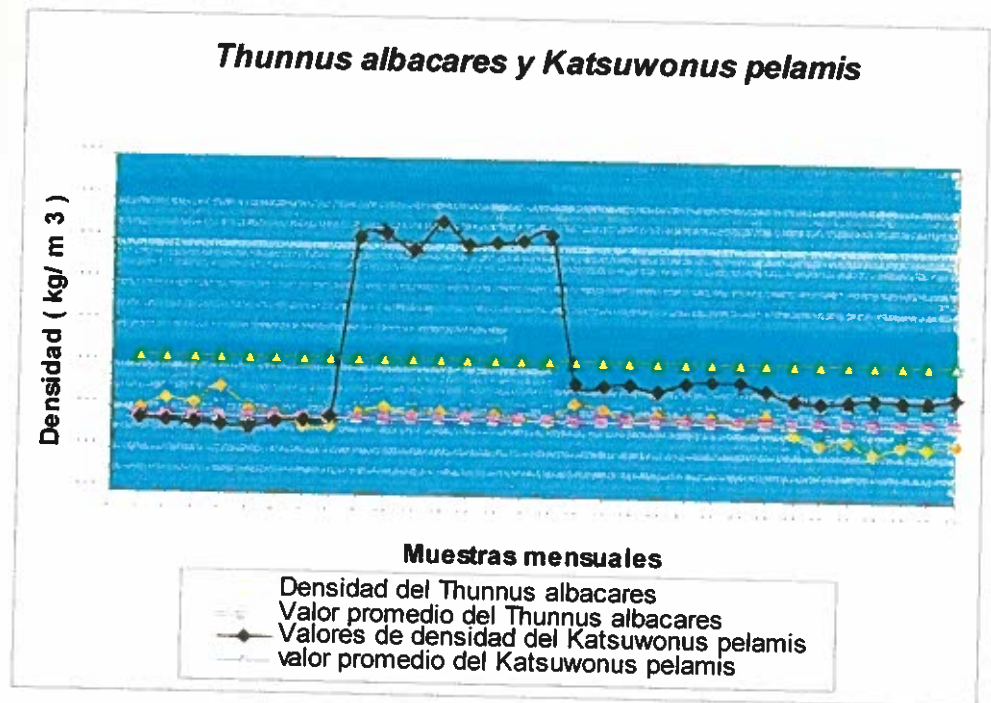


FIGURA 2.16: Densidad teórica a -18°C
 Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.5.2 Calor específico

Para determinar el calor específico teórico a -18°C se utiliza la ecuación general descrita en la tabla V, para ello se necesitan los siguientes valores:

1. El valor de la fracción másica de cada uno de los componentes (X_i) basado en su contenido nutricional.
2. El valor del calor específico de cada uno de los componentes (C_{pi}) a -18°C incluyendo la del hielo a partir de la ecuación propuesta por Choi & Okos.
3. Se multiplica la fracción másica de cada uno de los componentes (X_i) con su respectivo calor específico (C_{pi}) y se aplica la ecuación general de la densidad descrita en la tabla V.

Ejemplo:

Cálculo 11: Calor específico del filete sin piel del *Thunnus albacares* a -18°C

$$C_p = \sum C_{pi} X_i \quad (3)$$

1. Fracción másica (X_i)

$$X_H = 79,45 / 100 = 0,7945$$

$$X_P = 18,95 / 100 = 0,1895$$

$$X_G = 0,25 / 100 = 0,0025$$

$$X_C = 1,22 / 100 = 0,0122$$

$$X_{Ch} = 0,13 / 100 = 0,0013$$

2. Calor específico de cada uno de los componentes (C_{p_i})

$$C_{pP} = 2,0082 + 1,2089 \times 10^{-3}(-18) - 1,3129 \times 10^{-6}(-18)^2 = 1,98601$$

$$C_{pG} = 1,9842 + 1,4733 \times 10^{-3}(-18) - 4,8008 \times 10^{-6}(-18)^2 = 1,95613$$

$$C_{pC} = 1,0926 + 1,8896 \times 10^{-3}(-18) - 3,6817 \times 10^{-6}(-18)^2 = 1,057394$$

$$C_{pF} = 1,8459 + 1,8306 \times 10^{-3}(-18) - 4,8509 \times 10^{-6}(-18)^2 = 1,811377$$

$$C_{pCH} = 1,5388 + 1,9625 \times 10^{-3}(-18) - 4,8509 \times 10^{-6}(-18)^2 = 1,511903$$

$$C_{p_{hielo}} = 2,0623 + 6,0769 \times 10^{-3}(-18) = 1,95292$$

3. Aplicación de la fórmula general:

$$C_p = 1,98601 (0,1895) + 1,95613 (0,0025) + 1,057394 (0,0125) + 1,811377 (0) + 1,511903 (0,0015) + 1,95292 (0,7945)$$

$$C_p = 1,952 \text{ KJ / kg } ^\circ\text{C}$$

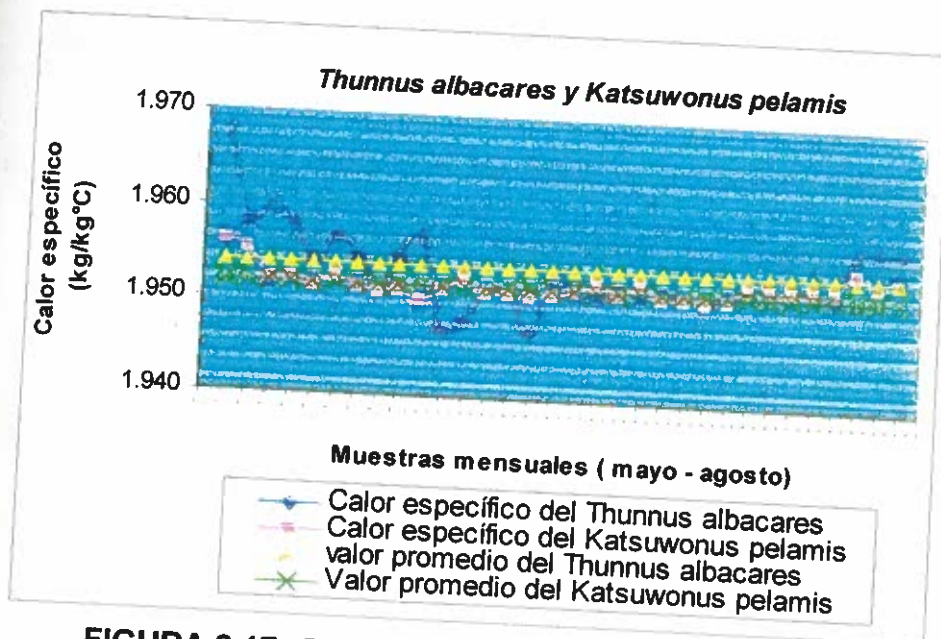


FIGURA 2.17: Calor Específico Teórico a -18°C
Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.5.3 Difusividad térmica

La ecuación de Choi & Okos para determinar la difusividad térmica y conductividad térmica a temperatura menor a 0°C , considera la proporción de agua congelada y no congelada y el peso molecular promedio, ver tabla XII. Para ello se necesitan conocer los siguientes valores:

1. El valor de la difusividad térmica de cada uno de los componentes (α_i) a -18°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/ρ_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 V.

Estos valores deben ser divididos para 10^{-6} con el propósito de expresarlo en m^2/s

Ejemplo:

Cálculo 13: Difusividad térmica del filete sin piel del *Thunnus albacares* a $-18^\circ C$

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

1. Calcular la difusividad térmica teórica de cada uno de los componentes (α_i)

$$\alpha_{ch} = [8,0842 \times 10^{-2} + 5,3052 \times 10^{-4} (-18) - 2,3218 \times 10^{-6} (-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_{ch} = 7,054 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_F = [7,3976 \times 10^{-2} + 5,1902 \times 10^{-4} (-18) - 2,2202 \times 10^{-6} (-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_F = 8,515 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_G = [0,8777 \times 10^{-2} - 1,2569 \times 10^{-4} (-18) - 3,8286 \times 10^{-6} (-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_G = 6,3914 \times 10^{-9}$$

$$\alpha_P = [6,8714 \times 10^{-2} + 4,7578 \times 10^{-4} (-18) - 1,4646 \times 10^{-6} (-18)^2] / 10^6$$

$$\alpha_P = 5,9675 \times 10^{-8}$$

$$\alpha_C = [1,2461 \times 10^{-1} + 3,7321 \times 10^{-4} (-18) - 1,2244 \times 10^{-6} (-18)^2] / 10^6$$

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

$$\alpha_H = [1,1756 - 6,0833 \times 10^{-3} (-18) + 9,5037 \times 10^{-5} (-18)^2] / 10^6 = 1,19656 \times 10^{-7}$$

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

$$\alpha_{\text{agua}} = 1,31589 \times 10^{-7}$$

2. Factor de humedad y fracción de hielo

Temperatura de inicio de congelación = $-2,2^\circ\text{C}$

Temperatura final de congelación = -18°C

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

$$T_i = 273,2 + (-18) = 271^\circ\text{K}$$

$$A = \{[232.600 (18)]/8314\} (1/271 - 1/255,2) = -0,115048$$

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

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

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

$$B_{Ch} = 0,0013/30.000 = 4,3 \times 10^{-8}$$

$$\Sigma B = 6,3167 \times 10^{-7} + 1 \times 10^{-9} + 7,91139 \times 10^{-8} + 5 \times 10^{-8} = 7,54 \times 10^{-7}$$

$$FHD = [18 (7,54 \times 10^{-7}) e^{-0,115048}] / (1 - e^{-0,115048})$$

$$FHD = 1,11312 \times 10^{-4}$$

$$FHI = 0,7945 - (1,12313 \times 10^{-4}) = 0,7944$$

3. Suma de la fracción (X_i / ρ_i)

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

$$X_G / \rho_G = 0,0025 / 933,106 = 2,6792 \times 10^{-6}$$

$$X_C / \rho_C = 0,0122 / 2428,851 = 5,1465 \times 10^{-6}$$

$$X_{CH} / \rho_{CH} = 0,0013 / 1604,688 = 9,3476 \times 10^{-7}$$

$$X_F / \rho_F = 0 / 1302,22 = 0$$

$$X_{\text{agua}} / \rho_{\text{agua}} = (0,7945 - 0,7944) / 996,01919 = 2,00799 \times 10^{-7}$$

$$X_H / \rho_{\text{hielo}} = 0,7944 / 919,242 = 8,644 \times 10^{-4}$$

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

4. Calcula el valor X_{iv} de los componentes:

$$X_{iv} = [X_i / \rho_i] / \sum (X_i / \rho_i)$$

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

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

$$X_{Ch} = 0,0013 / 1594,05 = 8,15 \times 10^{-7}$$

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

$$X_{\text{agua}} / \rho_{\text{agua}} = (0,7945 - 0,7944) / 996,01919 = 1,0 \times 10^{-7}$$

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

$$X_{Pv} = [1,4384 \times 10^{-4}] / 1,0146506 \times 10^{-3} = 0,1512$$

$$X_{Gv} = [2,73 \times 10^{-6}] / 1,0146506 \times 10^{-3} = 2,87 \times 10^{-3}$$

$$X_{Chv} = [8,15 \times 10^{-7}] / 1,0146506 \times 10^{-3} = 8,874 \times 10^{-4}$$

$$X_{Cv} = [5,047 \times 10^{-6}] / 1,0146506 \times 10^{-3} = 5,306 \times 10^{-3}$$

$$X_{av} = [1,0 \times 10^{-7}] / 1,0146506 \times 10^{-3} = 9,8556 \times 10^{-5}$$

$$X_{Hv} = [8,6419 \times 10^{-4}] / 1,0146506 \times 10^{-3} = 0,851712$$

5. Aplicación de la fórmula

$$\alpha = (9,8556 \times 10^{-5})(1,19656 \times 10^{-7}) + (0,851712) (1,31589 \times 10^{-6}) + (0,00264054) (6,3914 \times 10^{-8}) + (0,139456) (5,9675 \times 10^{-8}) + (0,000921264)(1,1749 \times 10^{-7}) + (0,00507215) (7,054 \times 10^{-8})$$

$$\alpha = 1,12 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$$

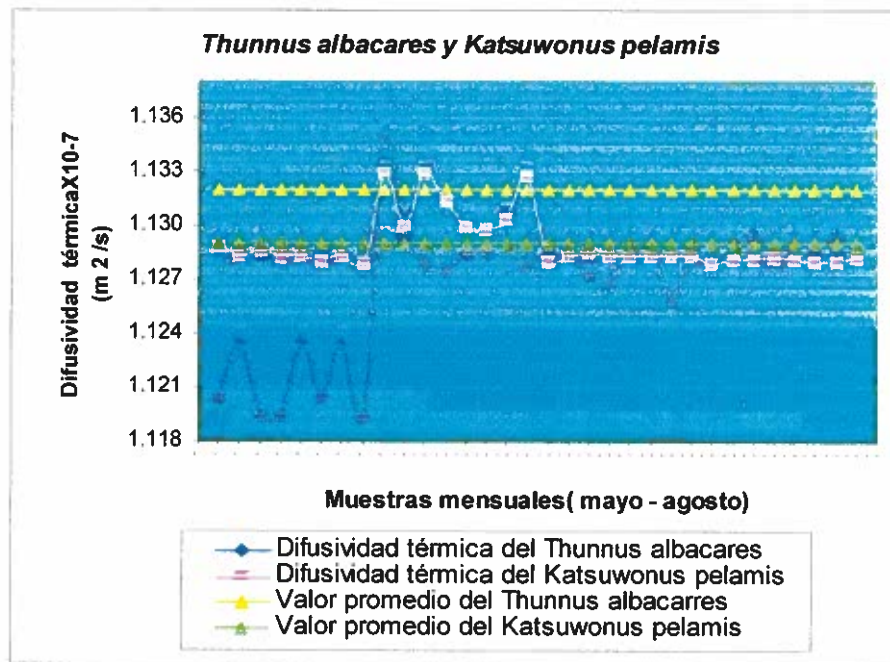


FIGURA 2.18: Difusividad Térmica Experimental –18°C
Elaborado por: Tannya Cobo M.

2.5.3 Conductividad térmica

Para calcular la conductividad térmica a -18°C se necesitan los siguientes valores:

1. Calcular la conductividad térmica de cada uno de los componentes (K_i) a 24°C incluyendo la del agua.
2. El valor X_{iv} se calcula similar al de la difusividad.
3. Aplicación de la fórmula de la conductividad térmica descrita en la tabla V.

Ejemplo:

Cálculo 13: Conductividad térmica del filete de *thunnus albacares* a -18°C

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

1. Conductividad térmica teórica de cada uno de los componentes (K_i):

$$K_P = 1,7881 \times 10^{-1} + 1,1958 \times 10^{-3}(-18) - 2,7178 \times 10^{-6}(-18)^2 = 0,20594$$

$$K_G = 1,8071 \times 10^{-1} - 2,7604 \times 10^{-3}(-18) - 1,7749 \times 10^{-7}(-18)^2 = 0,11435$$

$$K_F = 1,8331 \times 10^{-1} + 1,2497 \times 10^{-3}(-18) - 3,1683 \times 10^{-6}(-18)^2 = 0,21148$$

$$K_C = 3,2962 \times 10^{-1} + 1,4011 \times 10^{-3}(-18) - 2,9069 \times 10^{-6}(-18)^2 = 0,36157$$

$$K_{Ch} = 2,0141 \times 10^{-1} + 1,3874 \times 10^{-3}(-18) - 4,3312 \times 10^{-6}(-18)^2 = 0,23470$$

$$K_{agua} = 5,7109 \times 10^{-1} + 1,7625 \times 10^{-3}(-18) - 6,7036 \times 10^{-6}(-18)^2 = 0,60952$$

2. Aplicación de la fórmula

$$K = 0,60498(9,8556 \times 10^{-5}) + 2,3649(0,851712) + 0,1564(0,1512) + 0,2298(2,87 \times 10^{-3}) + 0,30346(5,306 \times 10^{-3}) + 0,17502(8,874 \times 10^{-4})$$

$$K = 2,036 \text{ w/m}^\circ\text{C}$$

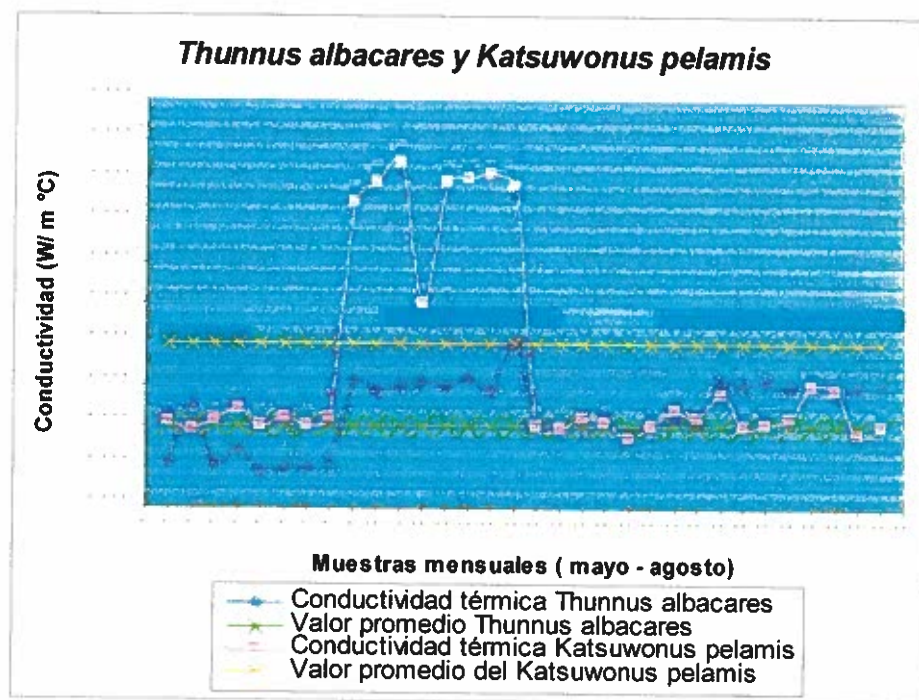


FIGURA 2.19: Conductividad Térmica Experimental -18°C
Elaborado por: Tannya Cobo M.

a.- Resultados teóricos promedio a -18°C .

Los resultados teóricos de los meses estudiados fueron calculados de la misma manera como se detalla en los ejemplos de cálculo 10, 11,12 y 13, a partir de la composición química promedio proximal.

A continuación tenemos los resultados de los promedios mensuales, los cuales presentan valores numéricamente similares, tanto para el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*.

TABLA XV

VALORES PROMEDIO A -18 DEL *THUNNUS ALBACARES*

Meses	Densidad (kg/m³)	Calor específico kJ/kg°C	Difusividad térmica M²/s	Conductividad térmica W/m°C
Mayo	986,026	1,952	1,12x10 ⁻⁶	2,036
Junio	985,934	1,951	1,129x10 ⁻⁶	2,038
Julio	985,908	1,952	1,128x10 ⁻⁶	2,037
Agosto	985,333	1,953	1,129x10 ⁻⁶	2,038

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

TABLA XVI
VALORES PROMEDIO A -18°C DEL KATSUWONUS PELAMIS

Meses	Densidad (kg/m³)	Calor específico kJ/kg°C	Difusividad térmica m²/s	Conductividad térmica W/m°C
Mayo	985,719	1,952	1,1284x10 ⁻⁸	2,037
Junio	990,193	1,941	1,1321x10 ⁻⁸	2,043
Julio	986,792	1,951	1,1283x10 ⁻⁸	2,037
Agosto	986,399	1,951	1,1280x10 ⁻⁸	2,037

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

CAPITULO 3

3. Resultados teóricos y experimentales

3.1 Elaboración de tablas de resultados teóricos y experimentales

Para cada una de las propiedades físicas: densidad, calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica, obtenidas teórica y experimentalmente a 24°C y teóricamente a -18°C , se procedió a elaborar tablas con sus respectivos valores promedios mensuales incluyendo la desviación estándar (Desv), que es una medida de dispersión entre los datos obtenidos durante nuestra investigación y error estándar (E.S.) que es una medida de la variación no controlada que se presentan en las pruebas realizadas en los meses de mayo, junio, julio y agosto.



3.1.1 Densidad

En la tabla XVII se aprecian los valores promedio de densidad determinados teórica y experimental a 24°C, observando que los valores experimentales son numéricamente similares entre el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis* a 24°C. En la tabla también está descrito la desviación estándar como una medida que nos permite observar la dispersión de los datos siendo menor a 10 y el error estándar en todos los datos es menor a 4. Estos resultados nos indican que a pesar que los datos sean diferentes entre sí son confiables. Las fórmulas para el cálculo de la media aritmética, desviación estándar y error estándar se pueden ver en el anexo E.

En la figura 2.20 y 2.21, observamos el comportamiento de los valores promedio de la densidad teórica y experimental de las dos especies de atún.

Tabla XVII

VALOR PROMEDIO DE LA DENSIDAD (Kg/m³) EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Experim.	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
<i>Thunnus</i> <i>Albacares</i>	Mayo	1.067,468	6,868	2,428	1.051,3	0,574	0,203
	Junio	1.079,865	4,916	1,137	1.015,2	1,138	0,402
	Julio	1.144,046	4,917	1,138	1.033,1	7,519	2,658
	Agosto	1.156,193	5,083	2,797	1.032,1	0,883	0,312
	Meses	Experim.	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
<i>Katsuwonus</i> <i>Pelamis</i>	Mayo	1.075,634	7,445	2,633	1.044,4	1,929	0,682
	Junio	1.076,891	6,664	2,356	1.034,8	2,345	0,829
	Julio	1.086,421	5,407	1,912	1.026,4	2,098	0,742
	Agosto	1.095,13	6,304	2,228	1.023,47	1,192	0,421

ELABORADO POR: Tannya del Rocío Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media experimental

**Desviación estándar a partir de la media teórica

Tabla XVIII

VALOR PROMEDIO DE LA DENSIDAD (Kg/m³) A -18°C y 24°C EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Teórico (-18°)	Desv.	E.S.	Teórico (24°C)	Desv.	E.S.
<i>Thunnus Albacares</i>	Mayo	986,026	0,082	0,348	1.051,3	0,574	0,203
	Junio	985,934	0,203	0,737	1.015,2	1,138	0,402
	Julio	985,908	0,081	0,438	1.033,1	7,519	2,658
	Agosto	985,333	0,045	0,497	1.032,1	0,883	0,312
	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.	E.S.	Teórico (24°C)	Desv.	E.S.
<i>Katsuwonus Pelamis</i>	Mayo	985,72	0,274	0,363	1.044,4	1,929	0,682
	Junio	990,19	0,296	0,756	1.034,8	2,345	0,829
	Julio	986,79	0,095	0,412	1.026,4	2,098	0,742
	Agosto	986,39	0,089	0,328	1.023,47	1,192	0,421

ELABORADO POR: Tannya del Rocio Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media teórica a -18°C.

**Desviación estándar a partir de la media teórica

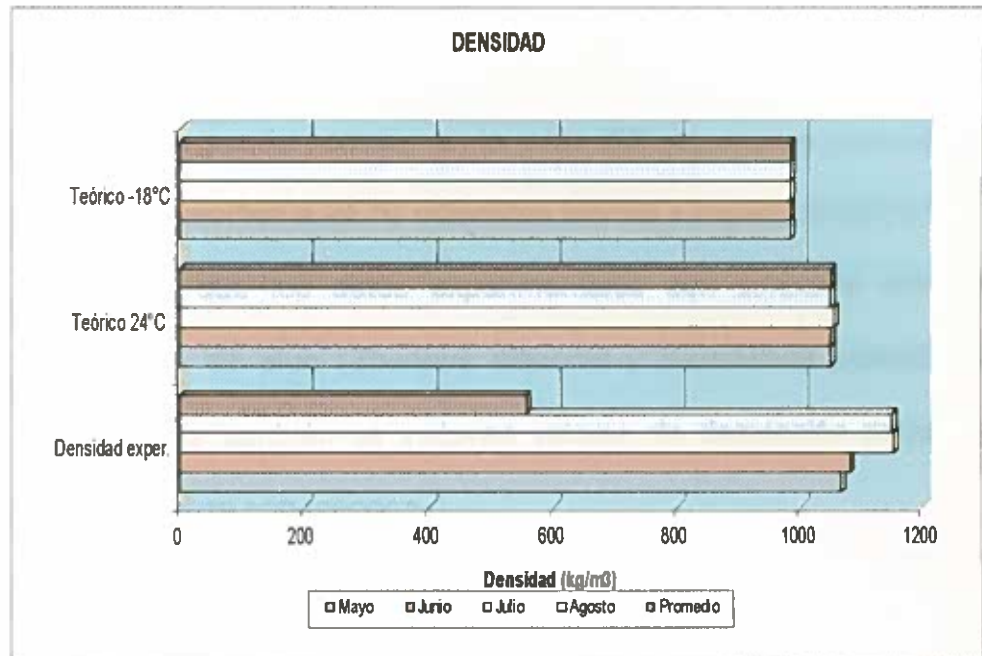


FIGURA 2.20: Densidades promedios del *Thunnus albacares*

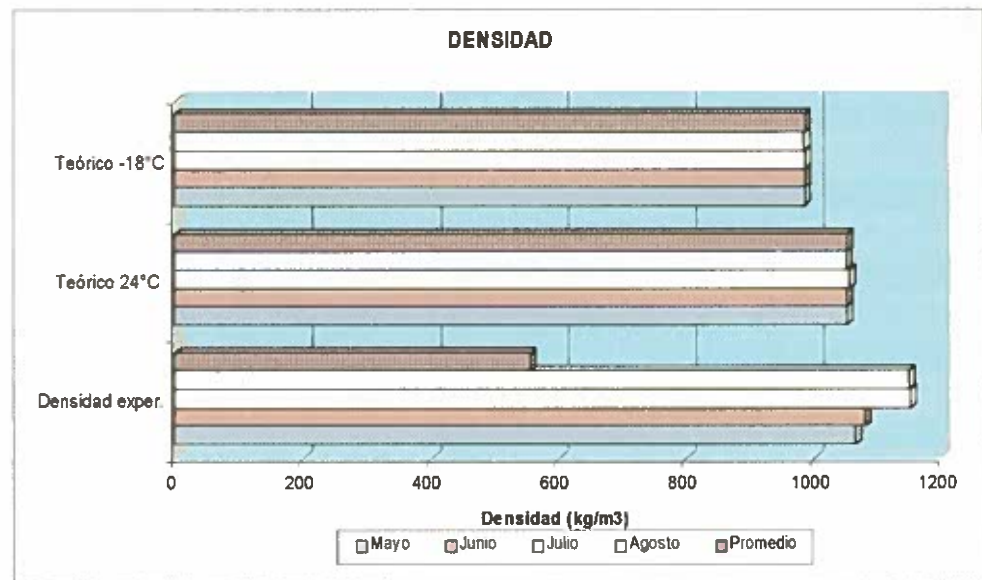


FIGURA 2.21: Densidad promedio del *Katsuwonus pelamis*

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

3.1.2 CALOR ESPECÍFICO

Como se puede apreciar en la tabla XIX los valores promedio del calor específico a 24 °C obtenidos teórica y experimentalmente, se observa que los datos experimentales son similares entre las especies de atún (*Thunnus albacres* y *Katsuwonus pelamis*). En esta tabla también se incluyen valores de desviación estándar y error ambos son menor a 1.

En la figura 2,22 y 2,23 observamos lo valores promedios tanto experimental como teórico durante el periodo de mayo – agosto.

TABLA XIX

VALOR PROMEDIO DEL CALOR ESPECIFICO (KJ/kg °C) EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Experim.	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
Thunnus Albacares	Mayo	2,852	0,303	0,107	3,725	0,0046	0,0016
	Junio	2,808	0,116	0,041	3,824	0,0328	0,0116
	Julio	2,678	0,199	0,007	3,797	0,0028	0,0010
	Agosto	2,699	0,227	0	3,801	0,0071	0,0025
	Meses	Experim.	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
Katsuwonus Pelamis	Mayo	2,501	0,096	0,034	3,754	0,0027	0,0009
	Junio	2,325	0,101	0,036	3,788	0,0103	0,0036
	Julio	2,322	0,153	0,054	3,822	0,0207	0,0073
	Agosto	2,719	0,104	0,037	3,835	0,0059	0,0021

ELABORADO POR: Tannya del Rocio Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media experimental

**Desviación estándar a partir de la media teórica

TABLA XX

VALOR PROMEDIO DEL CALOR ESPECIFICO (KJ/kg °C) A -18 Y 24°C EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
Thunnus Albacares	Mayo	1,952	0,0019	0,0012	3,725	0,0046	0,0016
	Junio	1,951	0,0006	0,0003	3,824	0,0328	0,0116
	Julio	1,952	0,0006	0,0003	3,797	0,0028	0,0010
	Agosto	1,953	0,007	0,0004	3,801	0,0071	0,0025
	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
Katsuwonus Pelamis	Mayo	1,952	0,0020	0,0015	3,754	0,0027	0,0009
	Junio	1,941	0,0005	0,0002	3,788	0,0103	0,0036
	Julio	1,951	0,0006	0,0003	3,822	0,0207	0,0073
	Agosto	1,951	0,0006	0,0003	3,835	0,0059	0,0021

ELABORADO POR: Tannya del Rocío Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media teórica a -18°C

**Desviación estándar a partir de la media teórica

TABLA XX

VALOR PROMEDIO DEL CALOR ESPECIFICO (KJ/kg °C) A -18 Y 24°C EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
Thunnus Albacares	Mayo	1,952	0,0019	0,0012	3,725	0,0046	0,0016
	Junio	1,951	0,0006	0,0003	3,824	0,0328	0,0116
	Julio	1,952	0,0006	0,0003	3,797	0,0028	0,0010
	Agosto	1,953	0,007	0,0004	3,801	0,0071	0,0025
	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
Katsuwonus Pelamis	Mayo	1,952	0,0020	0,0015	3,754	0,0027	0,0009
	Junio	1,941	0,0005	0,0002	3,788	0,0103	0,0036
	Julio	1,951	0,0006	0,0003	3,822	0,0207	0,0073
	Agosto	1,951	0,0006	0,0003	3,835	0,0059	0,0021

ELABORADO POR: Tannya del Rocio Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media teórica a -18°C

**Desviación estándar a partir de la media teórica

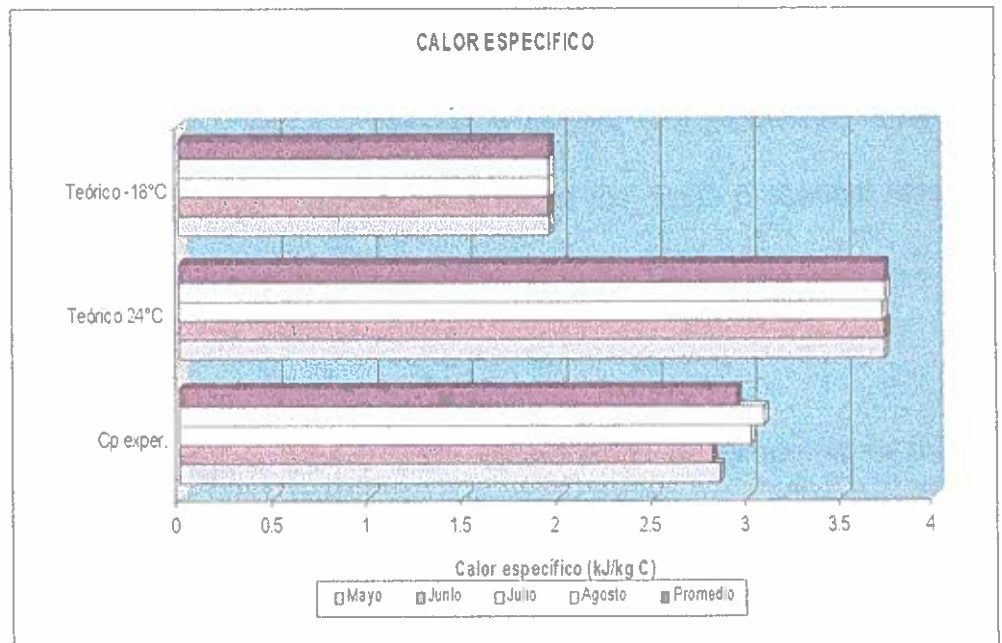


FIGURA 2.22: Calor específico promedio del *Thunnus albacares*

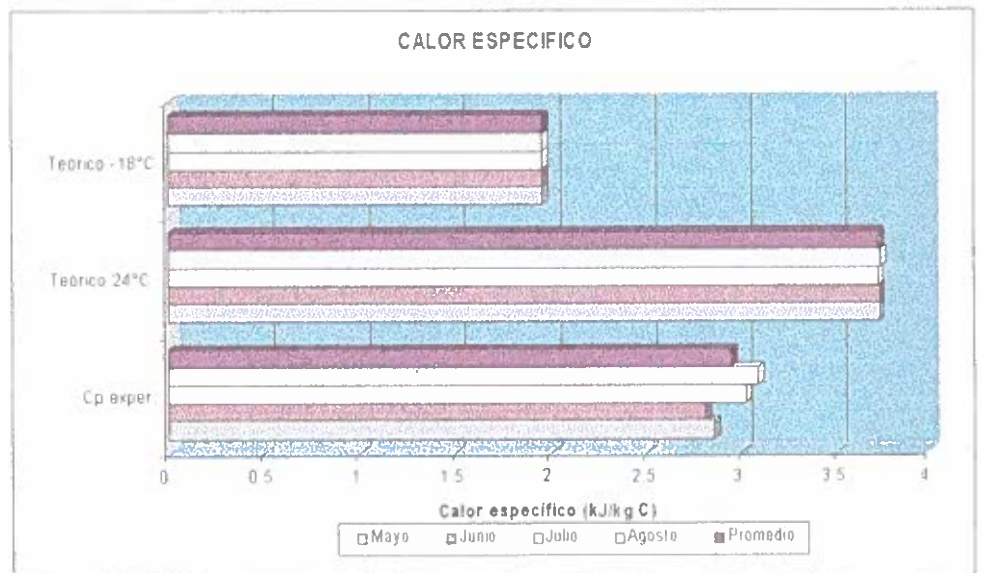


FIGURA 2.23: Calor específico promedio del *Katsuwonus pelamis*

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

3.1.3 DIFUSIVIDAD TÉRMICA

En la tabla XXI se puede apreciar los valores promedios de la difusividad térmica obtenidas teórica y experimental durante los meses mayo – agosto. Al analizar los datos presentan valores de desviación estándar y error estándar menor a 1.

En la figura 2.24 y 2.25, observamos el comportamiento de los datos a 24°C y -18°C donde se aprecia como disminuye la difusividad a medida que baja la temperatura, existiendo una diferencia del 79% para ambas especies de atún.

TABLA XXI

VALOR PROMEDIO DE LA DIFUSIVIDAD TERMICA (m^2/s) EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Experim.	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
<i>Thunnus</i> <i>Albacares</i>	Mayo	$1,15 \times 10^{-7}$	$2,93 \times 10^{-8}$	$1,04 \times 10^{-8}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$6,14 \times 10^{-8}$	$2,17 \times 10^{-10}$
	Junio	$1,19 \times 10^{-7}$	$2,84 \times 10^{-8}$	$1,06 \times 10^{-8}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$4,23 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-11}$
	Julio	$1,11 \times 10^{-7}$	$1,29 \times 10^{-8}$	$4,55 \times 10^{-9}$	$1,35 \times 10^{-7}$	$6,29 \times 10^{-10}$	$2,22 \times 10^{-10}$
	Agosto	$1,07 \times 10^{-7}$	$1,28 \times 10^{-8}$	$4,52 \times 10^{-9}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$5,44 \times 10^{-11}$	$1,92 \times 10^{-11}$
	Meses	Experim.	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
<i>Katsuwonus</i> <i>Pelamis</i>	Mayo	$1,07 \times 10^{-7}$	$1,15 \times 10^{-8}$	$4,07 \times 10^{-8}$	$1,341 \times 10^{-7}$	$7,93 \times 10^{-11}$	$2,80 \times 10^{-11}$
	Junio	$1,02 \times 10^{-7}$	$1,18 \times 10^{-8}$	$4,16 \times 10^{-9}$	$1,349 \times 10^{-7}$	$4,43 \times 10^{-11}$	$1,57 \times 10^{-11}$
	Julio	$1,08 \times 10^{-7}$	$2,89 \times 10^{-8}$	$1,02 \times 10^{-8}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$4,60 \times 10^{-10}$	$1,63 \times 10^{-10}$
	Agosto	$1,08 \times 10^{-7}$	$2,30 \times 10^{-8}$	$8,00 \times 10^{-9}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$2,56 \times 10^{-11}$	$9,06 \times 10^{-12}$

ELABORADO POR: Tannya del Rocío Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media experimental

**Desviación estándar a partir de la media teórica

TABLA XXII

VALOR PROMEDIO DE LA DIFUSIVIDAD TERMICA (m^2/s) A $-18^{\circ}C$ Y $24^{\circ}C$ EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses		Teórico ($-18^{\circ}C$)	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
<i>Thunnus</i> <i>Albacares</i>	Mayo		$1,12 \times 10^{-6}$	$2,93 \times 10^{-8}$	$7,23 \times 10^{-10}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$6,14 \times 10^{-8}$	$2,17 \times 10^{-10}$
	Junio		$1,129 \times 10^{-6}$	$2,841 \times 10^{-8}$	$4,781 \times 10^{-11}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$4,23 \times 10^{-11}$	$1,5 \times 10^{-11}$
	Julio		$1,128 \times 10^{-6}$	$1,29 \times 10^{-8}$	$5,29 \times 10^{-11}$	$1,35 \times 10^{-7}$	$6,29 \times 10^{-10}$	$2,22 \times 10^{-10}$
	Agosto		$1,129 \times 10^{-6}$	$1,28 \times 10^{-8}$	$7,82 \times 10^{-10}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$5,44 \times 10^{-11}$	$1,92 \times 10^{-11}$
	Meses		Teórico ($-18^{\circ}C$)	Desv.*	E.S.	Teórico	Desv.**	E.S.
<i>Katsuwonus</i> <i>Pelamis</i>	Mayo		$1,128 \times 10^{-6}$	$2,93 \times 10^{-8}$	$8,33 \times 10^{-10}$	$1,341 \times 10^{-7}$	$7,93 \times 10^{-11}$	$2,80 \times 10^{-11}$
	Junio		$1,132 \times 10^{-6}$	$2,841 \times 10^{-8}$	$6,841 \times 10^{-11}$	$1,349 \times 10^{-7}$	$4,43 \times 10^{-11}$	$1,57 \times 10^{-11}$
	Julio		$1,128 \times 10^{-6}$	$1,29 \times 10^{-8}$	$5,29 \times 10^{-11}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$4,60 \times 10^{-10}$	$1,63 \times 10^{-10}$
	Agosto		$1,128 \times 10^{-6}$	$1,28 \times 10^{-8}$	$2,48 \times 10^{-12}$	$1,347 \times 10^{-7}$	$2,56 \times 10^{-11}$	$9,06 \times 10^{-12}$

ELABORADO POR: Tannya del Rocío Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media teórica $-18^{\circ}C$

**Desviación estándar a partir de la media teórica

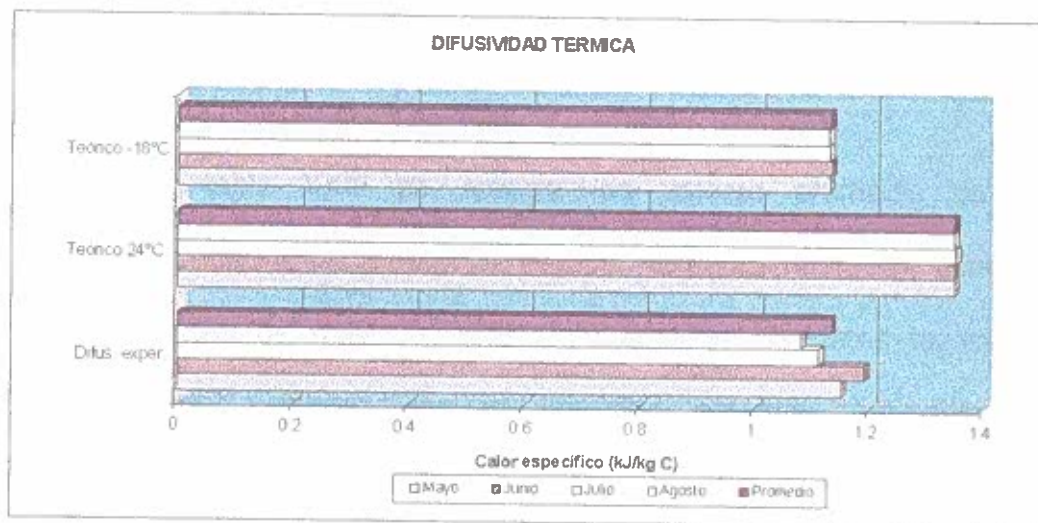


FIGURA 2.24: Difusividad térmica del *Thunnus albacares*

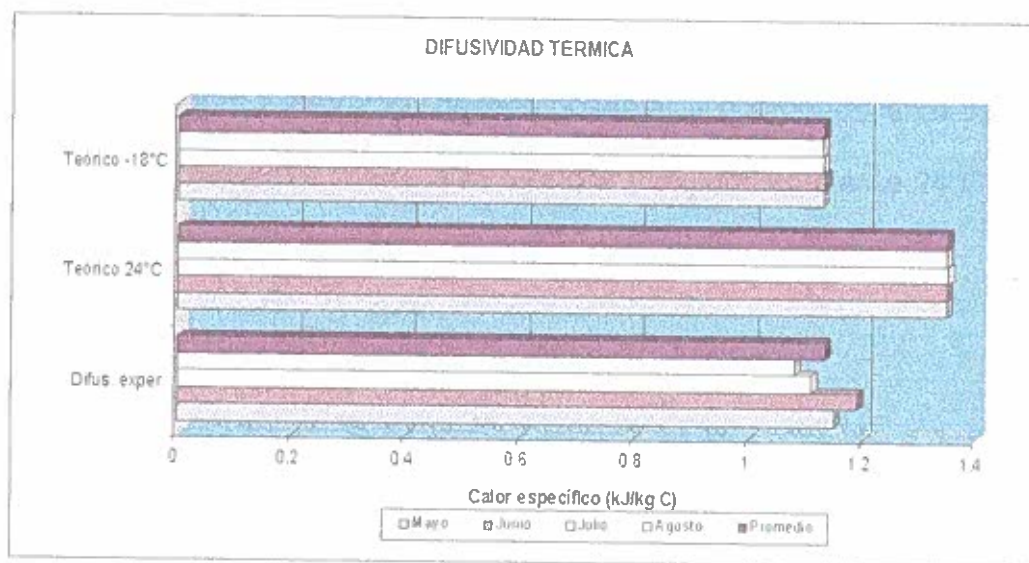


FIGURA 2.25: Difusividad térmica promedio del *Katsuwonus pelamis*

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

3.1.4 CONDUCTIVIDAD TÉRMICA

En la tabla XXIII se aprecia los valores promedio de la conductiidad térmica obtenida teórica y experimentalmente durante los meses de mayo – agosto. Al analizar los datos teórico y experimentales presentan una desviación estándar y un sesgo de error menor a uno. Además se observa que a -18°C el agua contenida en el filete se convierte en hielo incrementando la conductividad térmica (ver tabla XXIV).

En la figura 2.26 y 2.27, pueden observar el comportamiento de los datos promedios mensuales teóricos y experimentales a 24°C y -18°C .

TABLA XXIII

VALOR PROMEDIO DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m °C) EN LOS FILETES DE ATÚN

	Meses	Experim.	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
<i>Thunnus</i> <i>Albacares</i>	Mayo	0,3463	0,0873	0,0308	0,545	0,000529	0,000187
	Junio	0,3613	0,0897	0,0317	0,548	0,000671	0,000237
	Julio	0,3413	0,0409	0,0144	0,547	0,000714	0,000252
	Agosto	0,3363	0,0431	0,0152	0,547	0,000518	0,000183
	Meses	Experim.	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
<i>Katsuwonus</i> <i>Pelamis</i>	Mayo	0,2938	0,0297	0,0105	0,546	0,00139	0,00049
	Junio	0,255	0,0338	0,0119	0,548	0,00052	0,00018
	Julio	0,2688	0,0579	0,0205	0,547	0,00105	0,00037
	Agosto	0,3188	0,0683	0,0242	0,547	0,00074	0,00026

ELABORADO POR: Tannya del Rocio Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media experimental

**Desviación estándar a partir de la media teórica

TABLA XXIV

VALOR PROMEDIO DE LA CONDUCTIVIDAD TERMICA (W/m °C) A -18° Y 24°C EN FILETES DE ATÚN

	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
Thunnus Albacares	Mayo	0,3463	0,0873	0,0308	0,545	0,000529	0,000187
	Junio	0,3613	0,0897	0,0317	0,548	0,000671	0,000237
	Julio	0,3413	0,0409	0,0144	0,547	0,000714	0,000252
	Agosto	0,3363	0,0431	0,0152	0,547	0,000518	0,000183
	Meses	Teórico (-18°C)	Desv.	E.S.	Teórico	Desv.	E.S.
Katsuwonus Pelamis	Mayo	0,2938	0,0297	0,0105	0,546	0,00139	0,00049
	Junio	0,255	0,0338	0,0119	0,548	0,00052	0,00018
	Julio	0,2688	0,0579	0,0205	0,547	0,00105	0,00037
	Agosto	0,3188	0,0683	0,0242	0,547	0,00074	0,00026

ELABORADO POR: Tannya del Rocio Cobo M.

*Desviación estándar a partir de la media teórica a -18°C.

**Desviación estándar a partir de la media teórica

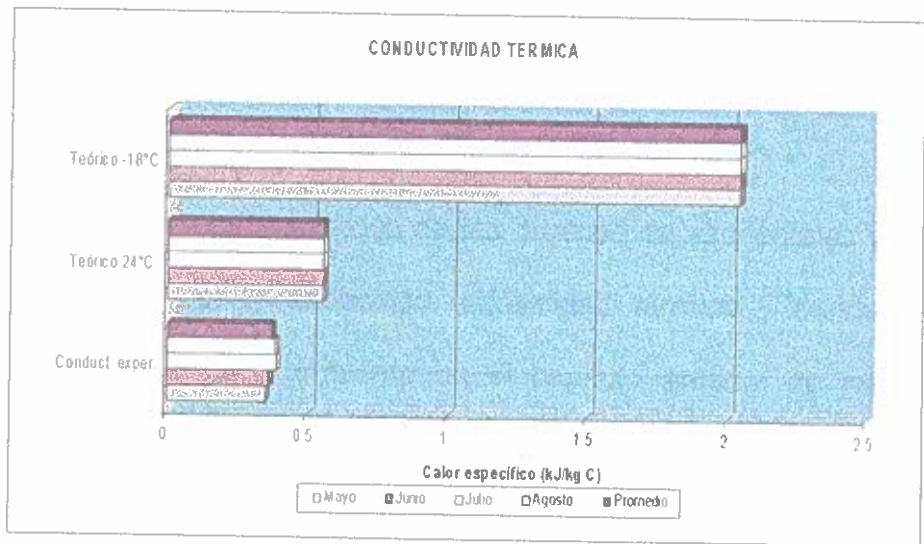


FIGURA 2.26: Conductividad térmica promedio *Thunnus albacares*

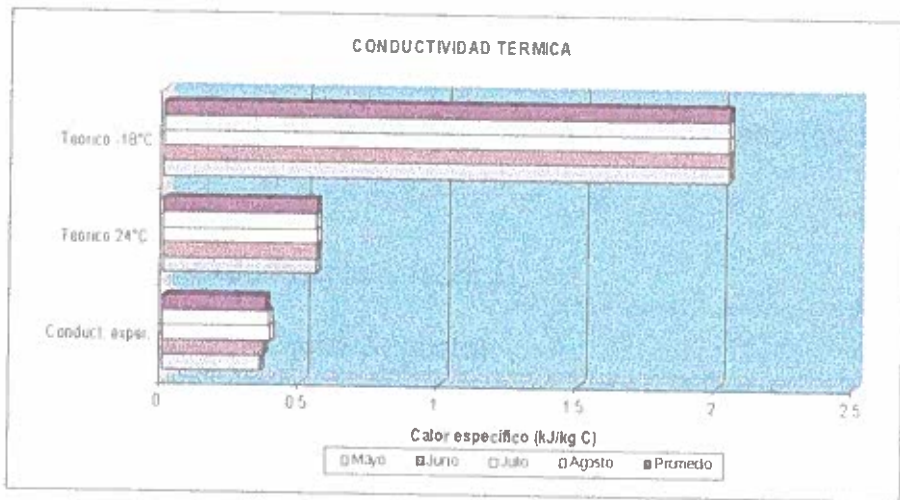


FIGURA 2.27: Conductividad térmica promedio *Katsuwonus pelamis*.

Elaborado por: Tannya del Rocio Cobo M.

3.2 Comparación de resultados teóricos y experimentales en producto fresco

Una vez obtenido los resultados de las pruebas experimentales y teórica de la densidad, calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica a temperatura ambiente en el capítulo anterior se realizó un análisis de varianza (ver anexo F).

El muestreo que se usó en las pruebas fue completamente aleatorio donde se tomaron 8 muestras por mes. Una vez obtenidos los datos experimentales se procedieron a compararlos con los resultados teóricos, mediante un análisis de varianza, donde se consideró los siguientes factores a estudiar:

1. Metodología (experimental y teórica)
2. Meses (mayo, junio, julio y agosto)

3.2.1 Densidad

En el análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales se evaluó un F crítico basándose al grado de libertad de las muestras que es de 2,67 obteniendo como resultado:

1. Existe diferencia discernible ($P < 0.05$) entre la metodología para el *Thunnus albacares* y el *Katsuwonus pelamis*.
2. Existe diferencia discernible ($P < 0.05$) entre los meses para *Thunnus albacares* pero no para el *Katsuwonus pelamis*
3. El porcentaje de diferencia entre la los datos teóricos a -18° y 24°C es de 3% para las dos especies de atún.

3.2.2 Calor específico

El análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales se evaluó un F crítico basándose al grado de libertad de las muestras que es de 2,67 obteniendo como resultado:

1. Existe diferencia discernible ($P < 0.005$) entre metodología en el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*.
2. Existe diferencia discernible ($P < 0.05$) entre los meses para el *Katsuwonus pelamis*, pero no en el *Thunnus albacares*.
3. El porcentaje de diferencia entre los datos teóricos a -18° y 24°C es 31% para el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*.

3.2.3 Difusividad térmica

El análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales se evaluó un F crítico basándose al grado de libertad de las muestras que es de 2.67 obteniendo como resultado:

1. Existe diferencia discernible ($P < 0.05$) entre las metodologías en el caso del *Katsuwonus pelamis* pero no en el *Thunnus albacares*.
2. No existe diferencia discernible ($P < 0.05$) entre los meses en el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*
3. La diferencia entre los datos teóricos a -18° y 24°C es 79% para el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*.

3.2.4 Conductividad térmica

El análisis de varianza de los datos teóricos y experimentales se evaluó un F crítico basándose al grado de libertad de las muestras que es de 2,67 obteniendo como resultado:

1. Existe diferencia discernible ($P < 0.05$) en la metodología para el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*.
2. No existe diferencia discernible ($P < 0.05$) entre meses para el *Thunnus albacares* y *Katsuwonus pelamis*.

3. La diferencia entre los valores teóricos a -18° y 24° es de 57% para el *Thunnus albacares* y 22% para el *Katsuwonus pelamis*.

TABLA XXV
DIFERENCIA ENTRE LA METODOLOGIA

Propiedades	Porcentaje A	Porcentaje B	Porcentaje C
Densidad	3%	1,2%	< 0,5%
Calor Específico	31%	0,3%	< 0,5%
Difusividad térmica	79%	1,7%	< 0,5%
Conductividad térmica	57%	3%	< 0,5%

Porcentaje A: Diferencia entre valores teórico a 24°C y -18°C de las dos variedades de atún.

Porcentaje B: Diferencia entre valores teóricos a 24°

Porcentaje C: Diferencia entre valores experimentales a 24°C

TABLA XXVI
ANALISIS DE VARIANZA DE COMPARACION DE F EXPERIMENTAL
CON F CRITICO 2,67

<i>Thunnus albacares</i>				
Diferencia entre:	Densidad	Calor especifico	Difusividad térmica	Conductividad térmica
Meses	9,41	0,7	1,2	0,19
Metodología	8,67	5,0	31	284
<i>Katsuwonus pelamis</i>				
Diferencia entre:	Densidad	Calor especifico	Difusividad térmica	Conductividad térmica
Meses	0,3	3,4	0,17	2,47
Metodología	17	37	62	917

F crítico < F experimental existe diferencia entre los métodos ó meses

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 tratamiento de conservación por frío, un alimento se define como congelado cuando en la mayor parte de agua libre ha pasado a hielo. La tarea de la industria 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 facilita el desarrollo de un proceso. En este capítulo vamos a usar las propiedades físicas obtenidas en el capítulo 2 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 filete de atún está constituido de una parte sólida y una parte líquida, tal como se ha mencionado en el capítulo 1. La parte líquida se va congelando lentamente hasta alcanzar la temperatura de la cámara frigorífica (-18°C).

Una gráfica que nos representa como la parte líquida del filete de atún se va congelando lentamente, puede obtenerse teóricamente mediante la ecuación de Bartlett propuesta en el año de 1944.

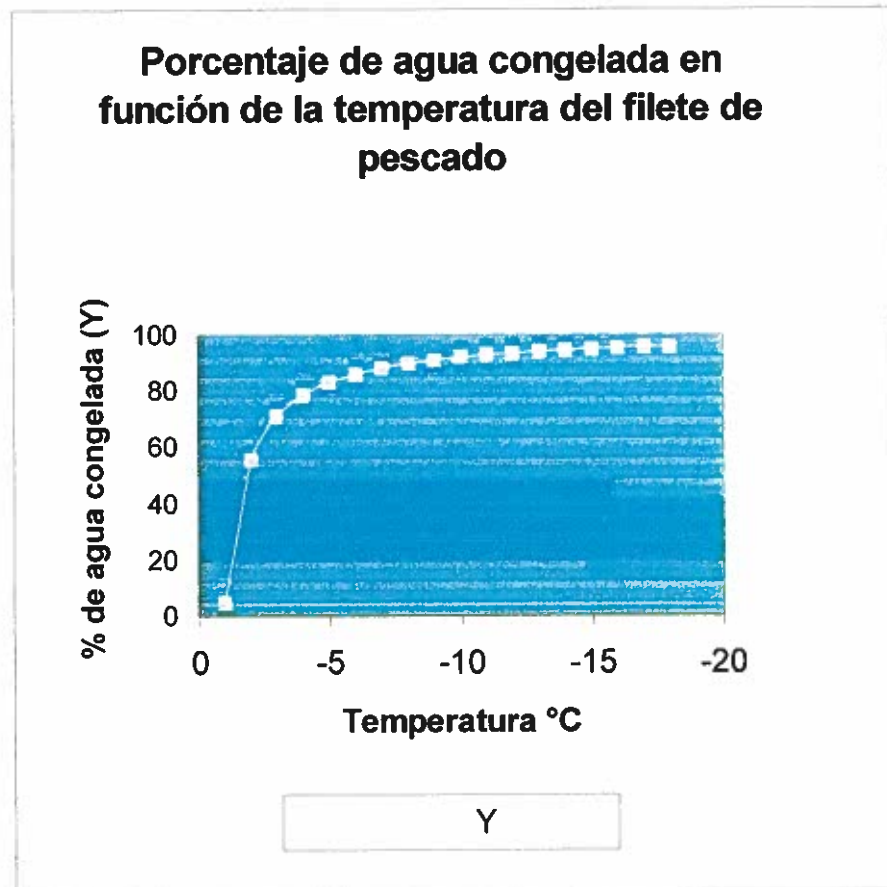


FIGURA 4.28: PORCENTAJE DE AGUA CONGELADA

Ver gráfico bibliográfico para otros alimentos en el anexo H

Para el cálculo de la carga térmica se necesita conocer datos del equipo y sus características constructivas, para esta tesis se va a considerar un congelador de túnel (ver figura 4.19)

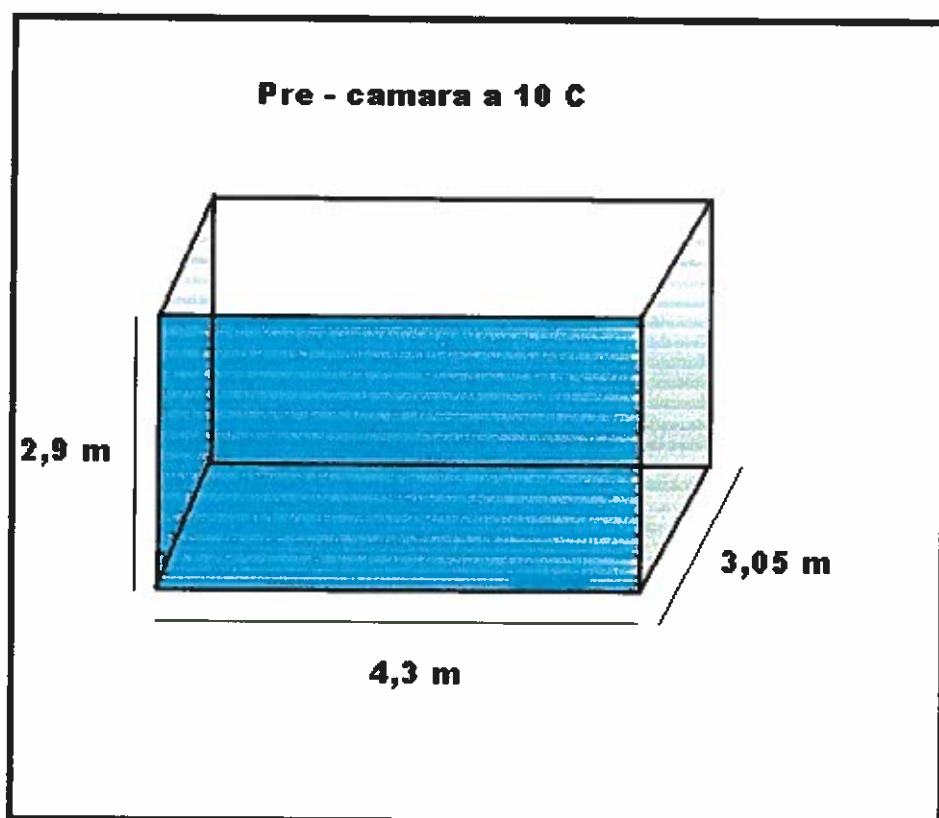


FIGURA 4.29: Dimensiones del congelador de túnel

TABLA XXVI
CARACTERISTICAS CONSTRUCTIVAS DE LAS PAREDES Y TECHO

MATERIALES DE CONSTRUCCION	ESPESOR	K W / m°C
Mortero de cemento	0,02 m	0,9304
Ladrillo	0,15 m	0,78
Mortero de cemento	0,01 m	0,9304
Polieuretano	0,10 m	0,019
Plancha galvanizada	0,0007 m	12,79

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

TABLA XXVII

FORMULAS PARA LOS CALCULOS DE LA CARGA TERMICA

Aporte Interno	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico para el producto 	$Q1 = m C_p (t_i - t_c) + m \lambda + m C_p (t_c - t_f)$
	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico de las bandejas 	$Q2 = m C_p (t_a - t_{fc})$
Aporte Externo	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico de las paredes, piso y techo 	$Q3 = U (t_i - t_f) (S1 + S2 + S3)$
	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico de renovación de aire 	$Q4 = N V_{aire} \rho_{aire} (H_{ext} - H_{int})$
Aporte Externo	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico del personal 	$Q5 = n_p T Q_p$
	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico de la iluminación 	$Q6 = P T$
	<ul style="list-style-type: none"> Aporte calorífico de los motores 	10% del calor total

4.1 Cálculo de la carga térmica a remover para congelar en forma individual del filete de peces sin piel y sin empacar.

La repartición de la producción frigorífica diaria de una cámara de túnel puede ser descompuesta de la siguiente forma:

1. Aporte calorífico interno

a) Aporte calorífico del producto

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:

1. Calor sensible entre la temperatura inicial y la temperatura de congelación.
2. Calor latente de formación del hielo.
3. Calor sensible correspondiente al enfriamiento del hielo y de la parte no congelada hasta la temperatura final. (21)

b) Aporte calorífico de las bandejas y carros portabandejas

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 del túnel de congelación, que generalmente es -35°C , la velocidad a la que circula el aire en el túnel se obtuvo bibliográficamente (19) y es de 5 m/s. El peso de una bandeja de acero inoxidable perforada es de 3,6 kg, el número de bandejas que tiene cada carro es de 11, y cada carro pesa 150 kg y entra en un túnel 15 carros. (21)

2. Aporte calorífico externo

a) Aporte calorífico por las paredes, piso, y techo.

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 y del revestimiento de cada una de las paredes, pisos y tumbados, Estos aportes caloríficos deben calcularse por separado y respecto a ellos se puede comentar (21):

Pisos

La temperatura del piso se transfiere a través de las diferentes capas. Sin embargo la magnitud de este aporte dependerá principalmente del tipo de aislamiento y de su espesor.

Paredes

Su aporte calorífico dependería de lo que haya adyacente a la pared en este caso la antecámara. Su magnitud dependerá del tipo y espesor del aislamiento. (ver tabla XXVI)

Tumbado

Este aporte calorífico depende de si la cámara está dentro del galpón de la empacadora o fuera. Su magnitud dependerá del tipo de aislamiento usado y su espesor. (ver tabla XXVI)

b) Aporte calorífico de renovación de aire.

Generalmente las puertas de los 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 el número de veces que se abrió la puerta es 2 veces y la cantidad de aire que entre a las cámaras. (21)

c) Aporte calorífico a la circulación y el trabajo del personal.

Generalmente los túneles solo se abren para cargar y descargar el producto, constituyendo esto un aporte de calor, por lo tanto esto dependerá el número de personas que se encuentran trabajando, para esto caso se van asumir 2 personas por un tiempo de una hora. Para el calor metabólico se asume 420 W. (21)

d) Aporte calorífico por iluminación.

Este aporte depende del número de focos, de su potencia (kW) y del tiempo que permanezcan encendidos, este tiempo generalmente coincide con aquel que permanece el personal dentro del túnel, para el cálculo se consideró una hora y se va a utilizar el criterio de que se necesita 24W por cada m^2 . (21)

e) Aporte calorífico del motor

Tomando en cuenta todos estos datos podemos decir que el calor a remover para congelar el filete de atún sin piel es la suma de todos los valores anteriormente calculados más un 10% que constituye el aporte de los motores de los ventiladores que contienen los túneles.

Ejemplo:

Cálculo 14: Forma estimada de carga frigorífica para un congelador de túnel.

1. Aporte calorífico interno para:

- | | |
|------------------------------|---------------|
| • El filete de atún sin piel | 344.546,53 kJ |
| • Bandejas y carros | 31.939,92 kJ |

2. Aporte calorífico externo de:

- | | |
|----------------------|--------------|
| • Pared | 10.843,85 kJ |
| • Piso | 3.273,26 kJ |
| • Tumbado | 3.337,42 kJ |
| • Renovación de aire | 869,03 kJ |
| • Personal | 3.024,00 kJ |

• Iluminación	1.080,00 kJ
• Motores	39.891,35 kJ
<hr/>	
Total de carga de congelación	438.804,83 kJ
Adicionando el 10% de factor de seguridad	43.880,48 kJ
Total con factor de seguridad	482.685,31 kJ

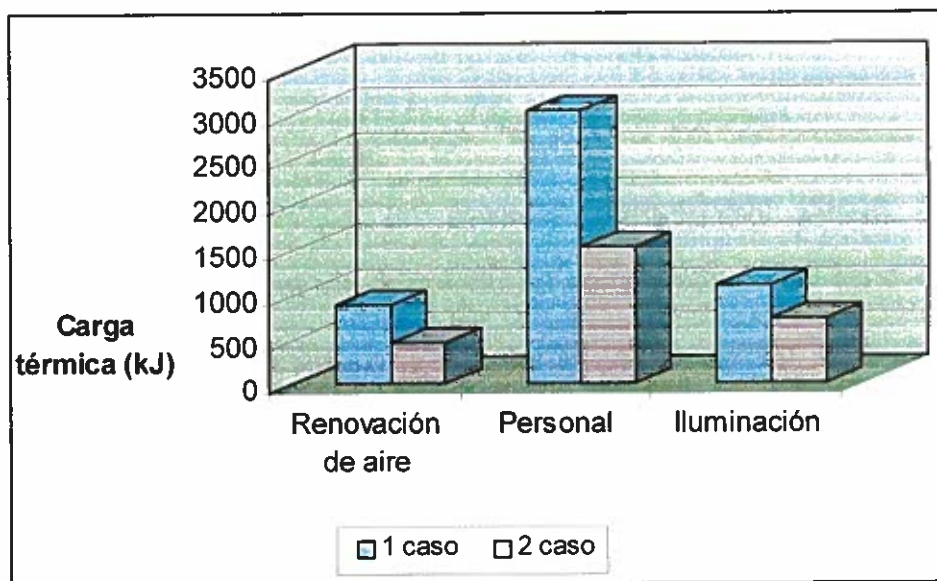


FIGURA 4.30: Variación de la carga térmica en dos casos analizados

Renovación de aire: 1º caso 2 veces se abre la puerta

2º caso 1 vez se abre la puerta

Personal: 1º caso 2 personas

2º caso 1 persona

Iluminación: 1º caso 3 focos

2º caso 1 foco

Elaborado por: Tannya del Rocío Cabe M.

4.2 Cálculo del tiempo efectivo de congelación en el músculo del pescado 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.

El cálculo de tiempo de congelación se considera por regla general por separado del tiempo de refrigeración.

Para tener una idea de este método experimentalmente se efectuó una prueba en un túnel de congelación, partiendo de una temperatura inicial del producto de 2,2 °C. Gráficamente se observa que el tiempo necesario para alcanzar la temperatura de -18°C es de 8 horas 40 minutos, ver figura 4.31 .

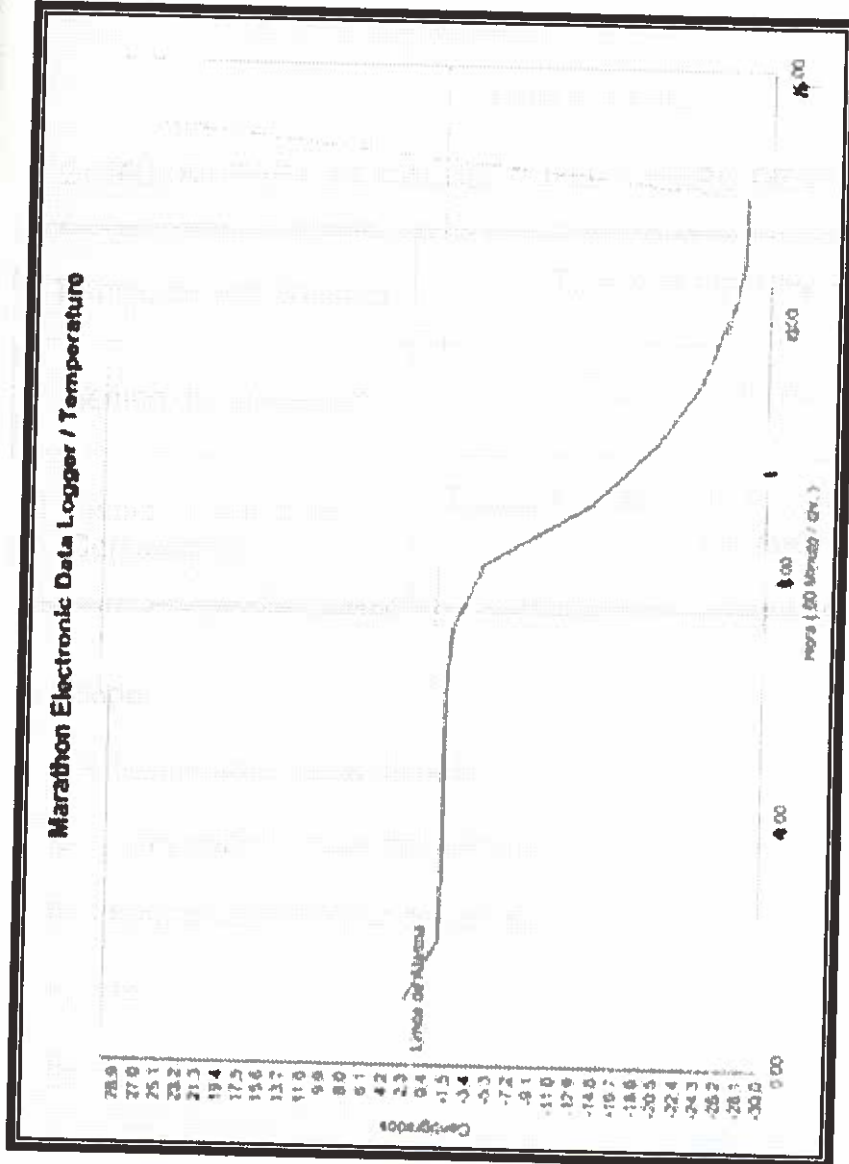


FIGURA 4.30: CURVA DE CONGELACION (Experimental)



Ejemplo:

Cálculo 15: Forma estimada del tiempo de congelación para el filete de atún sin piel.

1. Tiempo de enfriamiento	5,06 horas
2. Tiempo de congelación	2,60 horas
3. Tiempo efectivo de congelación	0,79 horas
<hr/>	
TOTAL (horas)	8,45 horas
<hr/>	

CONCLUSIONES

1. Durante el periodo estacional de mayo – agosto se observó que entre las especies no presentan variaciones significativas en cuanto a su composición química, encontrándose rango de valores de humedad alrededor de 80%, proteína 19%, ceniza 1,3% y grasa 0,25% de las especies analizadas.
2. Al analizar las metodologías de obtención de las propiedades físicas en el periodo mayo – agosto se observó que presentan diferencias. En la densidad, calor específico y difusividad térmica su diferencia es $\leq 10\%$, de allí que una forma rápida de obtener estos valores resultaría de usar las ecuaciones propuesta por Choi & Okos.
3. En el *Thunnus albacares* y *Katuwonus pelamis* existe una relación inversa con respecto a la temperatura cercana a la congelación, se observó que a medida que disminuye la temperatura los valores de calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica teórica aumenta.
4. Al no existir diferencia entre los meses mayo – agosto en los valores teóricos y experimentales de la difusividad térmica y conductividad térmica se usó el valor promedio teórico para el cálculo del tiempo de congelación

5. En el cálculo de la carga térmica total el valor que más influye es el calor a remover del producto para ello se trabajó con el valor teórico del calor específico y se observó que no existía diferencia entre los meses, por lo tanto se tomó el valor teórico más alto para cubrir cualquier necesidad de calor durante la congelación.
6. Al comparar el tiempo de congelación obtenido experimentalmente con la ayuda de una termocupla digital y el valor teórico se observa que existe una diferencia de 9% lo que nos da una ventaja con respecto al valor calculado teóricamente.

RECOMENDACIONES

1. Para complementar el estudio de las propiedades físicas y su aplicación al proceso de congelación debería considerarse las otras presentaciones comerciales del producto como es con piel, lomos, entero sin cabeza, entre otros.
2. Para determinar experimentalmente la densidad se debe tratar en lo posible trabajar con masas similares en las pruebas y temperaturas semejantes del agua y la muestra.
3. El método de las mezclas es muy apropiado para la mayor parte de los sólidos en forma de granos o polvo. Se requiere inicialmente la reducción de tamaño de las partículas grandes para asegurar que el calor se transfiera relativamente rápido.
4. En la determinación del calor específico se usó un calorímetro artesanal, se aconseja usar para un nuevo estudio de contenido de energía bruta de un alimento utilizar un calorímetro adiabático que queme el oxígeno y anule las pérdidas al ambiente.

5. Para determinar experimentalmente la difusividad térmica se debe utilizar cilindro de cobre debido que es uno de los mejores conductores de calor ($403 \text{ W / m}^\circ\text{K}$) y económico comparado con la plata.
6. En la difusividad térmica experimental es importante controlar adecuadamente la temperatura del baño de María y también un control casi preciso y exacto del tiempo, ya que estos dos parámetros dependen del éxito de la historia de temperatura para obtener el valor f (factor de calentamiento).

A N E X O

ANEXO A

DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD A.O.A.C

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.

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. Desechar la muestra en una estufa a 98 -100 °C por espacio de 4 horas.
5. Retirar el beaker de la estufa y enfriar en un desecador por espacio de 30 minutos.
6. Pesar en una balanza de precisión.

Cálculos

Peso de beaker+arena+agitador+muestra- peso de beaker +arena+agitador =
PESO REAL DE LA MUESTRA

Peso de beaker+arena+agitador+muestra (100°C)- peso de beaker
+arena+agitador =PERDIDA DE PESO MUESTRA

% DE HUMEDAD= Pérdida de peso de la Muestra / Peso real de la muestra *
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 B

DETERMINACION DE PROTEINAS BRUTAS METODO 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 Na OH. El NH_3 , que queda en libertad se destila y es recibido en una cantidad conocida de solución de SO_4H_2 y se lo determina por titulación.

Técnica

1. En un balón de 600 - 800 ml de capacidad colocar 1 gr de muestra
2. Adicionar 1 - 2 pastillas de Kjeldahl ó sulfato de potasio 10 gr + sulfato de cobre 1 gr
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 mlk de agua destilada (hervida y fría)

8. Adiciona 2 – 3 granalla de zinc y 70-80 ml de hidróxido de sodio al 45,4% (Soda Kjeldahl)
9. Destilñar 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 más 2 –3 gotas de indicador rojo de metilo
11. Titular con hidróxido de sodio 0.1 N

Cálculos

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

p.m. = peso muestra

f = Factor

Reactivos

1. H₂SO₄ Concentrado y 0.1 N
2. NaOH al 45.4 % y 0.1 N
3. Pastillas Kjeldahl ó sulfato de sodio + sulfato de cobre
4. Granallas de zinc
5. Indicador rojo de metilo

Se recomienda medir con precisión el ácido sulfúrico (H₂SO₄) 0.1 N usar pipeta volumétrica.

Es necesario que la punta del refrigerante penetre en la disolución de ácido contenido en el erlenmeyer.

7

8

9

0

1

2

3

4

5

6

7

8

9

ANEXO C

DETERMINACION DE GRASAS (METODO DE EXTRACCION DE SOXHLET)

Fundamento

El término extracto etéreo se refiere al conjunto de sustancias grasa extraídas con éter etílico . Incluye además de los esteres de los ácidos grasos con el glicerol, a los fosfolipidos , lecitinas, esteroles, ceras y ácidos grasos libres.

Método

1. Pesar con exactitud 5 g de muestra (humedad).
2. Colocar en un mortero.
3. 10 g de fosfato de sodio bibásico (Na_2HPO_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' 3 perlas de vidrio.

9. Recuperar el éter y evaporar el remanente que queda con la grasa.
10. Desechar el residuo contenido en del 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 = $\frac{\text{Peso de la grasa} + \text{peso real de la muestra}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$

Se recomienda usar aren, debido a que las muestras de carne de camarón se contrae 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 D

DETERMINACION DE CENIZAS TOTALES METODO DE INCINERACION INEN 520 Y 467

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.

Métodos

1. Pese 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 un cocinilla 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. Incinerese 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.

% de cenizas = $\frac{\text{Peso de cenizas}}{\text{Peso de cenizas} + \text{peso real de la muestra}} * 100$

Se recomienda elevar la temperatura de la mufla 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 E

Fórmulas Estadísticas

1. Media aritmética

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Donde "n" indica el número de valores en la muestra

2. Desviación estándar

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

3. Error estándar

$$\sigma_x = \frac{S}{\sqrt{n}}$$



4. Análisis de variancia para un experimento completamente aleatorizado de dos factores

Fuente	Suma de cuadrado	Grado de libertad (v)	Varianza (σ^2)	Fexp
A	$(\sum_{i=1}^a T_i^2) / bn - C$	a-1	SC_A / V_A	σ_A^2 / σ_R^2
B	$(\sum_{j=1}^b T_j^2) an - C$	b-1	SC_B / V_B	σ_B^2 / σ_R^2
AB	$SC_{Tratamiento} - SC_A - SC_B$	(a-1)(b-1)	SC_{AB} / V_{AB}	$\sigma_{AB}^2 / \sigma_R^2$
Tratamiento	$(\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T_{ij}^2) / n - C$	ab-1		
Residual	$SC_{Total} - SC_{Tratamiento}$	ab(n-1)	SC_R / V_R	
Total	$\sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n X_{ijk}^2 - C$	abn - 1		

Anexo F

Cálculo del Análisis de Variancia de dos factores

1. *Thunnus albacares* (Albacora)

1.1 DENSIDAD

Mes	DENSIDAD	
	Experim.	Teorica
Mayo	1067.02	1051.951
	1060.58	1051.402
	1071.64	1050.663
	1069.83	1051.5
	1062.72	1051.625
	1081.46	1051.869
	1064.92	1051.298
	1061.57	1051.312
JUNIO	1082.93	1051.45
	1074.69	1051.48
	1087.12	1051.60
	1077.24	1051.52
	1074.69	1051.61
	1082.71	1051.62
	1075.38	1051.53
	1084.16	1051.52
JULIO	1161.11	1055.92
	1052.38	1056.05
	1129.17	1056.20
	1223.53	1056.12
	1177.78	1055.89
	1129.73	1055.95
	1151.69	1056.24
	1126.98	1056.18
AGOSTO	1141.67	1050.92
	1194.44	1050.89
	1206.52	1050.88
	1191.36	1050.86
	1179.78	1050.91
	1094.94	1050.88
	1174.16	1050.88
	1066.67	1050.86

Mes	DENSIDAD		Total de columna
	Experim.	Teorica	
MAYO	8.539,74	8.411,62	16.951,36
JUNIO	8.638,92	8.412,33	17.051,25
JULIO	9.152,37	8.448,55	17.600,92
AGOSTO	9.249	8.407,08	17.656,62
TOTAL DE FILA	35.580,57	33.679,56	69.260,13

$$C = (69.260,13)^2 / 64 = 74.952.587,62$$

$$SCTotal = [(1.067,02)^2 + (1.060,58)^2 + (1.071,64)^2 + \dots + (1.031,9)^2] -$$

$$74.952.587,62 = 140.127,6034$$

$$SCTratamiento = [(8.539,74)^2 + (8.411,62)^2 + (8.638,92)^2 + (8.412,33)^2 +$$

$$(9.152,37)^2 + (8.448,55)^2 + (9.249,54)^2 + (8.407,08)^2] / 8 - 74.952.587,62 =$$

$$104.612,8$$

$$SCA = [(16.951,36)^2 + (17.051,25)^2 + (17.600,92)^2 + (17.656,62)^2] / 16 -$$

$$74.952.587,62 = 25.059,07$$

$$SCB = [(9.249,54)^2 + (8257,083)^2] / 32 - 73.605.574,58 = 99.712,824$$

$$SCAB = 104.612,8 - 25.059,07 - 56.466,23 = 23.087,47$$

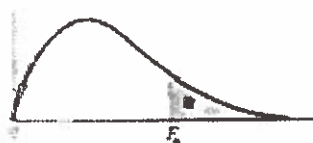
$$SCResidual = 140.127,6034 - 104.612,8 = 35.514,83$$

TABLA
ANALISIS DE VARIANCA DE DOS FACTORES

FUENTE	SC	v	σ^2	F Exp.	F Critico
A	25.059,07	3	8.353,02	9,408	2.84
B	56.466,23	1	56.466,23	63,597	4.08
AB	23.087,47	3	7.695,82	8,668	2.84
TRATAMIENTO	104.612,8	7			
RESIDUAL	35.514,83	40	887,87		
TOTAL	140.127,60	47			

ANEXO G

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	9.28	9.13	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	4.74	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	3.23	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	2.26	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	
∞	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	

Anexo H

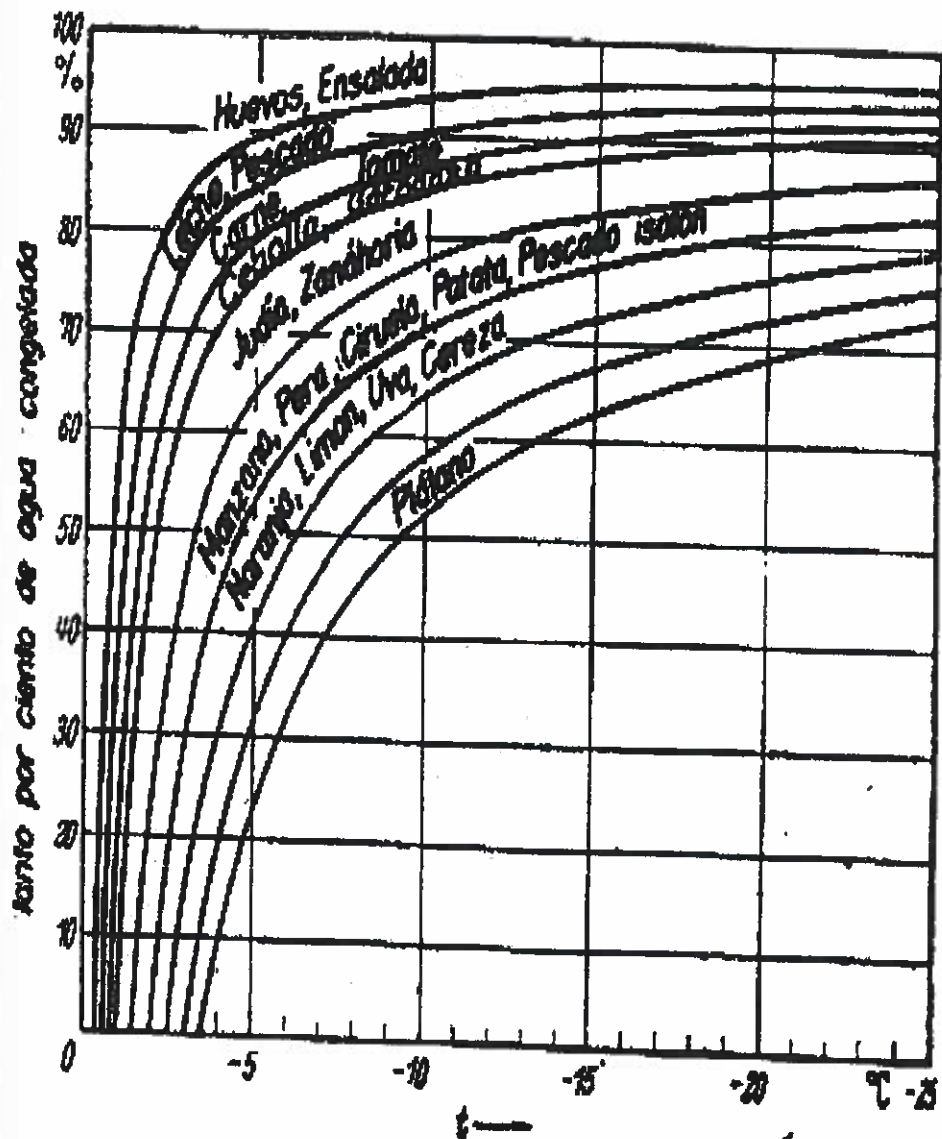


FIG. 7. Curso aproximado de las cantidades de agua congeladas en función de la temperatura, para diferentes alimentos (según HEISS).

Anexo I

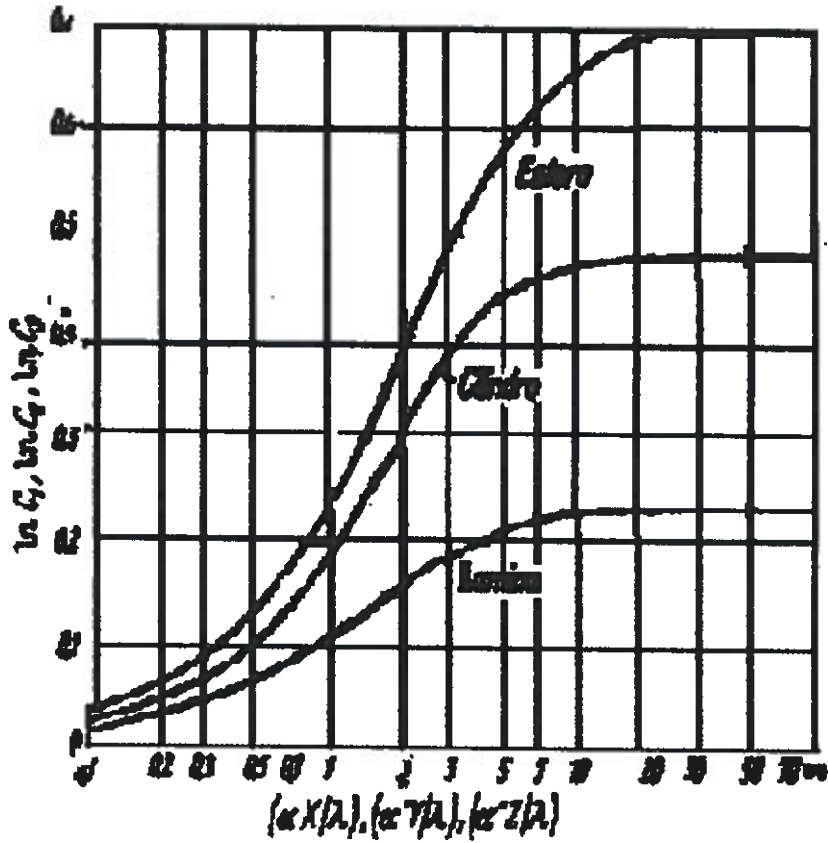


FIG. 3. Valores de la Q o, respectivamente, de la Q_1 , $\ln Q_1$, $\ln Q_2$ para láminas, cilindros y esteros.

Anexo J

TABLA

VALORES DE μ^2 , ν^2 , κ^2 (15)

$\alpha \times l/\lambda$	μ^2, ν^2, κ^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
∞	2,47	5,78	9,87

Anexo K

TABLA

VALORES DE "n" SEGUN NUMERO DE BIOT (15)

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
∞	1,000

Anexo L

Otros modelos para calcular el calor específico, difusividad térmica y conductividad térmica

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:

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

3. Para el cálculo de conductividad térmica:

1. Sweat

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

2. Harper

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

3. Earle

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

Anexo M

Aplicación de otros modelos matemáticos

1. Calor específico

1.1 Thunnus albacares

1.1.1 Dickerson

Mayo:

$$C_p = 1,675 + 0,025 (79,45)$$

$$C_p = 3,661 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.2 Siebel

Mayo

$$C_p = 0,837 + 0,034 (79,45)$$

$$C_p = 3,538 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.3 Alvarado

Mayo

$$C_p = 1,194 + 0,026 (79,45)$$

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

1.1.4 Charm

Mayo

$$X_s = 100 - (79,45 - 0,25) = 20,80$$

$$C_p = 2,094 \cdot (0,0025) + 1,256 \cdot (0,2080) + 4,187 \cdot (0,7945)$$

$$C_p = 3,593 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.5 Heldman

$$C_p = 1,424 \cdot (0,0013) + 1,549 \cdot (0,1895) + 1,675 \cdot (0,0025) + 0,837 \cdot (0,0122) + 4,187 \cdot (0,7945)$$

$$C_p = 3,636 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.2 Katsuwonus pelamis (barrilete)

1.1.1 Dickerson

Mayo:

$$C_p = 1,675 + 0,025 (79,43)$$

$$C_p = 3,661 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.2 Siebel

Mayo

$$C_p = 0,837 + 0,034 (79,43)$$

$$C_p = 3,538 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.3 Alvarado

Mayo

$$C_p = 1,194 + 0,026 (79,43)$$

$$C_p = 3,259 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.4 Charm

Mayo

$$X_s = 100 - (79,43 + 0,20) = 20,37$$

$$C_p = 2,094 *(0,0023) + 1,256 *(0,2037) + 4,187 *(0,7943)$$

$$C_p = 3,592 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

1.1.5 Heldman

$$C_p = 1,424 *(0,0014) + 1,549 *(0,1892) + 1,675 *(0,0023) + 0,837$$

$$*(0,0128) + 4,187 *(0,7943)$$

$$C_p = 3,635 \text{ KJ/kg } ^\circ\text{K}$$

2. Difusividad Térmica

2.1 Thunnus albacares

2.1.1 Miles y colaboradores

$$\alpha = [0,0572 (0,7945) + 0,0138 (0,0025) + 0,0003 (297)] \times 10^{-6}$$

$$\alpha = 1,346 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

2.2 Katsuwonus pelamis

2.2.1 Miles y colaboradores

$$\alpha = [0,0572 (0,7943) + 0,0138 (0,0023) + 0,0003 (297)] \times 10^{-6}$$

$$\alpha = 1,346 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

3. Conductividad térmica

3.1 Thunnus albacares

3.1.1 Sweat

Mayo:

$$K = 0,148 + 0,0049 (79,45)$$

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

3.1.2 Earle

Mayo

$$K = (0,55/100) * 79,45 + (0,25/100) * (100 - 79,45)$$

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

3.2 Katsuwonus pelamis (barrilete)

3.1.1 Sweat

Mayo:

$$K = 0,148 + 0,0049 (79,43)$$

$$K = 0,5406 \text{ W / m } ^\circ\text{K}$$

3.1.2 Earle

Mayo

$$K = (0,55/100) * 79,43 + (0,23/100) * (100 - 79,43)$$

$$K = 0,4924 \text{ W / m } ^\circ\text{K}$$

TABLA
COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS
PARA CALCULAR EL CALOR ESPECÍFICO (kJ / Kg °K)

Thunnus albacares (albacora)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Dickerson	3,661	3,663	3,663	3,664
Siebel	3,538	3,541	3,540	3,542
Alvarado	3,260	3,262	3,261	3,263
Charm	3,593	3,594	3,954	3,596
Heldman	3,636	3,638	3,637	3,640
Choi & Okos	3,726	3,727	3,715	3,729
Experimental	2,8517	2,8078	3,0155	3,0806
Katsuwonus pelamis (barrilete)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Dickerson	3,661	3,660	3,660	3,661
Siebel	3,538	3,537	3,537	3,537
Alvarado	3,259	3,258	3,259	3,259
Charm	3,592	3,591	3,591	3,591
Heldman	3,635	3,732	3,635	3,635
Choi & Okos	3,727	3,714	3,724	3,724
Experimental	2,927	2,956	2,973	2,971

TABLA

**COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS
PARA CALCULAR LA DIFUSIVIDAD TÉRMICA (m²/s)**

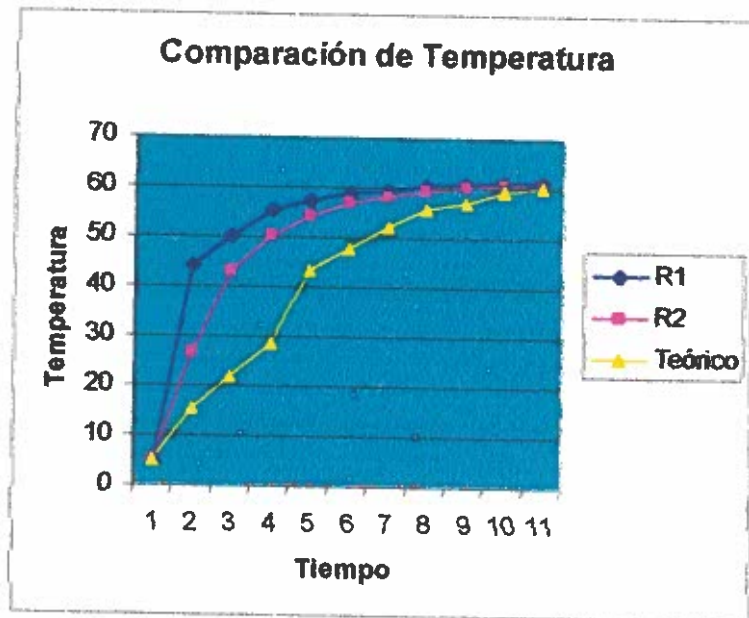
Thunnus albacares (albacora)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Mieles y colaboradores	1,347 x 10 ⁻⁷	1,346 x 10 ⁻⁷	1,346 x 10 ⁻⁷	1,346x10 ⁻⁷
Choi & Okos	1,347 x 10 ⁻⁷	1,347 x 10 ⁻⁷	1,35 x 10 ⁻⁷	1,347 x 10 ⁻⁷
Experimental	1,15 x 10 ⁻⁷	1,19 x 10 ⁻⁷	1,11 x 10 ⁻⁷	1,08 x 10 ⁻⁷
Katsuwonus pelamis (barrilete)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Mieles y colaboradores	1,346 x 10 ⁻⁷	1,345 x 10 ⁻⁷	1,345x 10 ⁻⁷	1,346 x 10 ⁻⁷
Choi & Okos	1,347 x 10 ⁻⁷	1,349 x 10 ⁻⁷	1,347 x 10 ⁻⁷	1,347 x 10 ⁻⁷
Experimental	1,12 x 10 ⁻⁷	1,07 x 10 ⁻⁷	1,08 x 10 ⁻⁷	1,112x 10 ⁻⁷

TABLA
COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES MODELOS MATEMÁTICOS
PARA CALCULAR LA CONDUCTIVIDAD TÉRMICA (W / m °K)

Thunnus albacares (albacora)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Sweat	0,5374	0,5538	0,5455	0,5460
Earle	0,4914	0,5002	0,4953	0,4956
Choi & Okos	0,552	0,552	0,553	0,552
Experimental	0,349	0,361	0,386	0,383
Katsuwonus pelamis (barrilete)				
Según:	Mayo	Junio	Julio	Agosto
Sweat	0,5406	0,5447	0,5484	0,5497
Earle	0,4924	0,4948	0,4966	0,4977
Choi & Okos	0,552	0,553	0,552	0,552
Experimental	0,353	0,341	0,352	0,363

ANEXO N

COMPARACION DE TEMPERATURAS EXPERIMENTALES Y TEORICAS PARA UNA DIFUSIVIDAD TÉRMICA DE $1,04 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$



R1 = Replica #1 (experimental)

R2 = Replica #2 (experimental)

Temperatura teórica = Fo vs Biot (bibliográfico)



BIBLIOGRAFIA

1. ATUN MAR, Información especializada de pesca, Año 2 N° 4 (Junio 1999), pp. 32 – 39
2. ALVARADO J.D., Principio de Ingeniería aplicado en alimentos. Secretaría general de la O.E.A., Ambato – Ecuador, 1996
3. CAMBA N., Manual de métodos de análisis de producto pesquero. Boletín científico y técnico. Instituto de Nacional de Pesca 1982. Guayaquil – Ecuador.
4. CHOI YOUNGHEE y OKOS MARTIN, Los efectos de temperatura y composición en las propiedades térmicas de alimentos, Universidad Nacional de Kyungpol, Taegu, Korea.
5. CONNELL J.J., Control de la calidad de pescado, editorial Acribia, Zaragoza – España.
6. CURSO INTERNACIONAL SOBRE PROCESAMIENTO PESQUERO PARA SEGURIDAD ALIMENTARIA, Procesamiento de productos congelados, Instituto tecnológico del Perú, Callao – Perú, 1996, pp. 7-9, 10-15.
7. DANFOSS, Refrigeration to the basics, Nordbory, march 1970

8. HEATCRAFT INC., Engineering Manual, Refrigeration Products Division, H-ENG-1, Junio 1990, pág. 14
9. JOSEPH J., KLAME W. Y MURPHY P., Atunes y peces espada, Comisión Interamericana del atún tropical, California 1986
10. JOURNAL OF FOOD ENGINEERING 9, Thermal properties of dough and bakery product; a review of published Data 1989, pp. 167 – 193
11. KIETZMANN U., PRIEBE K., RAKOW D. Y REICHSTEIN K., Inspección veterinaria de pescado, editorial Acribia, Zaragoza – España, 1974
12. LENAGUER M, Food engineering and process applications, Department of food science university, Edmonton Alberta Canadá, Elsevier applied science publisher
13. LEWIS M. J., Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado, Editorial Acribia S.A., Zaragoza – España
14. MENDENHALL WILLIAM, Estadística para administradores, segunda edición, Grupo Editorial Iberoamérica. Belmont, California, 1998, pp. 774
15. PESCA BLANCA INTERNACIONAL, Vol. 1 N°3 (Junio 1998), pp. 21 – 23
16. PLANK RUDOLPH, El empleo del frío en la industria de alimentación, Editorial Reverté S.A., Barcelona - España, 1980
17. INEN. Tabla de composición química de alimentos Ecuatorianos.
18. THE COMPLETE SEAFOOD HANDBOOK, Finfish and shell fish published by journal publication, printed in USA 1995, pp. 78 – 79
19. THE SEAFOOD HANDBOOK, Global supplies & major markets, Sponsor of the international Boston seafood show, USA 1994, pp. 131 – 132

20. SINELL HANS JURGEN, Introducción a la higiene de los alimentos.

Editorial Acribia.

21. VARGAS Z. A., Manual de refrigeración. Editorial Series Vz. 1987

22. WAYNE DANIEL. Bioestadística base para el análisis de las ciencias de la

salud. Editorial Limusa 1985. Mexico