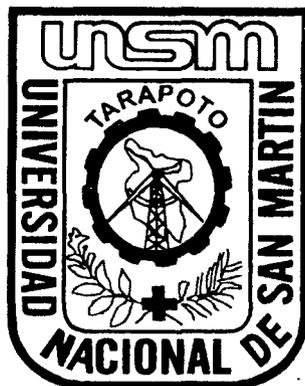


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD: DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL



DETERMINACIÓN DE DOS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS PARA LA CONGELACIÓN DE DOS FRUTAS TROPICALES: ARAZÁ (Eugenia stipitata Mc Vaugh) Y POMARROSA (Sysigiam jambos Alston) EN LA REGIÓN SAN MARTÍN.

TESIS

PRESENTADO POR:

ABNER FLORES GARCÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AGROINDUSTRIAL

TARAPOTO - PERÚ

2000



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN

FACULTAD DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

DETERMINACIÓN DE DOS PROPIEDADES TERMOFÍSICAS
PARA LA CONGELACIÓN DE DOS FRUTAS TROPICALES:
ARAZÁ (*Eugenia stipitata* Mc Vaugh) Mc Vaugh) Y POMARROSA
(*Sysigiam jambos* Alston) EN LA REGIÓN SAN MARTÍN

INFORME DE INGENIERÍA

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR: BACH. ABNER FLORES GARCIA

INFORME DE INGENIERÍA SUSTENTADO

Y APROBADO ANTE EL HONORABLE JURADO

PRESIDENTE

Ing. Msc. Dr. OSCAR VILFREDO MENDIETA TABOADA

SECRETARIO

Ing. THONY ARCE SAAVEDRA

MIEMBRO

Ing. Msc. ABNER BARZOLA CARDENAS

ASESOR

Ing. WILSON ERNESTO SANTANDER RUÍZ



DEDICATORIAS

A mis Padres, JORGE y FLOR DE MARIA , por su paciencia y Comprensión, quienes fueron la base fundamental para la culminación de mi carrera y de quienes oriento mi Profesión.

A mis Hermanos, ADITH, YONE ESTELA, JORGE Y LUZ MARINA quienes me dieron el entusiasmo y abnegación en todo momento durante mi trabajo de Investigación .

A mi señora esposa MARIA, quien me brindó el apoyo moral en todo momento en forma incondicional.

AGRADECIMIENTOS

Agradecer al Ing. WILSON ERNESTO SANTANDER RUIZ, por el asesoramiento constante en el desarrollo de este mi trabajo de Tesis.

Al Ing. MSc. OSCAR W. MENDIETA TABOADA , por las orientaciones y el apoyo desinteresado en cuanto a brindarme la bibliografía especializada sobre el tema de mi trabajo de Tesis.

Al Ing. ENRIQUE TERLEIRA GARCÍA por facilitarme el uso de las instalaciones y equipos del Laboratorio de Análisis y Composición de Productos Agroindustriales (ANACOMPA) , para realizar las pruebas preliminares de mi trabajo.

Al Ing. FERNANDO CORONADO JORGE, por su colaboración y co- asesoramiento en forma desinteresada al trabajo realizado.

A mis amigos, por su paciencia y sabios consejos que me dieron la fuerza y el tesón para culminar con mi carrera profesional y con mi trabajo de Tesis.

A todos mis profesores que me supieron inculcar los conocimientos básicos que más tarde me sirvió para desarrollar mi trabajo y para el ejercicio profesional.

INDICE GENERAL

| | Pag |
|--|------------|
| RESUMEN | 8 |
| ABSTRACT | 9 |
| | |
| I. INTRODUCCION | 10 |
| | |
| II. REVISION DE LITERATURA | 11 |
| 2.1. El Fruto del Arazá | 11 |
| 2.1.1 Descripción de la Planta | 12 |
| 2.1.2. Clasificación Taxonómica | 12 |
| 2.1.3. Consideraciones Agrobotánicas..... | 13 |
| 2.1.4. Composición Química del Fruto | 14 |
| 2.1.5. Producción Nacional del Arazá | 15 |
| 2.1.6. Usos | 16 |
| 2.2. El Fruto de la Pomarrosa | 17 |
| 2.2.1. Descripción de la Fruta | 17 |
| 2.2.2. Clasificación Taxonómica | 18 |
| 2.2.3. Consideraciones Agrobotánicas | 18 |
| 2.2.4. Composición Química del Fruto | 19 |
| 2.2.5. Producción de Pomarrosa en el Perú | 19 |
| 2.2.6. Usos | 20 |
| 2.3. El Proceso de Congelación | 20 |
| 2.3.1. Fundamentos Teóricos | 20 |
| 2.4. El Agua en Alimentos Congelados | 23 |
| 2.4.1. El Agua y las Propiedades Térmicas de los Alimentos.. congelados | 23 |
| 2.4.2. El Agua Ligada | 24 |
| 2.5. Estimación de Propiedades Termodinámicas de un Alimento a Temperatura de Congelación | 26 |
| 2.5.1. Generalidades | 26 |

| | |
|---|----|
| 2.5.2. Relación Termodinámica Fundamental | 27 |
| 2.5.3. Suposiciones y Métodos Termodinámicos | 28 |
| 2.5.4. Contenido de Hielo | 31 |
| 2.5.5. Velocidad de Formación de Hielo con la Temperatura..... | 33 |
| 2.5.6. Evaluación de Parámetros del Punto de Congelación | 34 |
| 2.6. Propiedades Térmicas de los Alimentos a Bajas Temperaturas | 35 |
| 2.6.1. Calor específico aparente | 35 |
| 2.6.2. Entalpía | 37 |
| 2.6.3. Investigación Experimental y Métodos de Medición..... | 40 |
| 2.7. Diagramas de Congelación de Alimentos | 41 |
| 2.7.1. Diagrama de Congelamiento del Agua y Soluciones simples..... | 41 |
| 2.7.2. Diagrama de Congelación de Materiales Alimenticios..... | 43 |
| | |
| III. MATERIALES Y METODOS..... | 45 |
| 3.1. Lugar de Ejecución | 45 |
| 3.2. Materia Prima | 45 |
| 3.3. Equipos y Materiales | 45 |
| 3.3.1. Equipos | 45 |
| 3.3.2. Reactivos | 46 |
| 3.3.3. Materiales | 46 |
| 3.4. Métodos | 46 |
| 3.4.1. Análisis Organoléptico | 46 |
| 3.4.2. Análisis Físico | 47 |
| 3.4.3. Análisis Químico | 47 |
| 3.4.4. Preparación de Muestras..... | 48 |
| 3.4.5. Determinación Experimental del Punto Inicial de Congelación | 49 |
| 3.4.6. Determinación Experimental de la Entalpía de Congelación | 50 |
| 3.4.7. Evaluación de los Parámetros del Punto de Congelación..... | 52 |
| 3.4.8. Evaluación de la Exactitud | 53 |
| | |
| IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES | 54 |
| 4.1. Análisis Organoléptico | 54 |
| 4.2. Análisis Físicoquímicos y Biométricas | 54 |

| | |
|---|----|
| 4.3. Análisis Químico | 56 |
| 4.4. Punto Inicial de Congelación y Parámetros empíricos..... | 57 |
| 4.5. Contenido y Velocidad de formación de hielo con la temperatura.... | 62 |
| 4.6. Entalpía de Congelación | 66 |
| 4.7. Calor específico aparente | 72 |
| | |
| V. CONCLUSIONES | 76 |
| | |
| VI. RECOMENDACIONES | 77 |
| | |
| VII. ANEXOS | 78 |
| | |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA | 91 |

INDICE DE CUADROS

| N° | Título | Pag. |
|----|---|------|
| 1 | Composición Química del Fruto de Arazá | 14 |
| 2 | Contenido Vitamínico y Proteico del Fruto de Arazá | 15 |
| 3 | Contenido en 100 gr. de la parte comestible de Pomarrosa | 19 |
| 4 | Propiedades Físicas del agua y del hielo | 24 |
| 5 | Características Biométricas y Fisicoquímicas del Arazá | 55 |
| 6 | Características Biométricas y Fisicoquímicas de la Pomarrosa | 56 |
| 7 | Composición Química Proximal del Fruto de Arazá | 57 |
| 8 | Composición Química Proximal del Fruto de Pomarrosa | 57 |
| 9 | Punto de Congelación Experimental y calculado del Arazá | 59 |
| 10 | Punto de Congelación Experimental y calculado de la Pomarrosa | 59 |
| 11 | Contenido y velocidad de Formación de hielo calculado en Función de la temperatura para el Arazá | 62 |
| 12 | Contenido y velocidad de Formación de hielo calculado en Función de la temperatura para la Pomarrosa | 63 |
| 13 | Porcentaje de hielo y agua no congelada con respecto a la Temperatura , para el Arazá | 64 |
| 14 | Porcentaje de hielo y agua no congelada con respecto a la Temperatura , para la Pomarrosa | 66 |
| 15 | Determinación Calorimétrica de la entalpía para el Arazá | 66 |
| 16 | Determinación Calorimétrica de la entalpía para la Pomarrosa | 68 |
| 17 | Entalpía de congelación Experimental y calculado para el Arazá | 68 |
| 18 | Entalpía de congelación Experimental y calculado para la Pomarrosa | 70 |
| 19 | Calor específico aparente para la Pomarrosa | 72 |
| 20 | Calor específico aparente para el Arazá | 74 |

RESUMEN

El presente trabajo consistió en determinar las propiedades termofísicas de los frutos de Arazá (Eugenia stipitata Mc.Vaugh) y Pomarrosa (Syzigium jambos Alston), relacionados con su congelación.

Las frutas fueron obtenidas de la localidad de Tarapoto, Provincia de San Martín, Departamento de San Martín.

El índice de madurez, se observó cuando la pulpa de ambas frutas a la presión ejercida con la mano era suave y blanda, color característico al estado de maduro y aroma propio de la fruta madura. El fruto de Arazá utilizado presenta un diámetro entre 8 a 12 cm., peso de 180 g., rendimiento en pulpa de 77.30% y pH de 3; el fruto de Pomarrosa un diámetro de 4 a 7 cm., altura de 6 a 8 cm., peso de 76 g., rendimiento en pulpa de 72.77% y pH de 4.3.

La composición química proximal presentó el siguiente rango para el Arazá y Pomarrosa; humedad: 86.84% y 85.40%; proteínas: 0.59% y 0.98%; Grasa: 1.59% y 0.92%; cenizas: 0.99% y 0.77% y carbohidratos: 9.89% y 11.93% respectivamente.

Para estas condiciones químico proximales se obtuvo el punto inicial de congelación para el Arazá de -1.2°C y de -1.6°C para Pomarrosa, a partir de esto y utilizando las Ecuaciones de SCHWARTZBERG (1981) y CHEN (1985); se obtuvo los valores de b (relación de masa de agua ligada) de 0.29 para Arazá y de 0.225 para Pomarrosa; M_e (relación de peso molecular efectivo) de 310 para Arazá y de 247.18 para Pomarrosa y E (relación de peso molecular del agua entre el peso molecular efectivo de sólidos) de 0.05804 para Arazá y 0.072 para Pomarrosa.

Las curvas precedidas de contenido de hielo, calor específico aparente y entalpía tanto de Arazá como de Pomarrosa, presentan comportamientos similares de curvas de otras frutas reportadas por RIEDEL (1956), HELDMAN (1982), HSIEH et al. (1977), GONZÁLES (1991), presentando una aceptable concordancia con los valores calculados por las ecuaciones de SCHWARTZBERG (1976,1981) y CHEN (1985).

Así mismo las curvas de congelación encontradas, presentan el comportamiento típico para los alimentos

ABSTRACT

The present paper is based on determination of thermophysical properties of Araza (Eugenia stipitata Mc.Vaugh) and Pomarrosa (Sisigiam jambos Alston) fruits, with relationship it freezing. The fruits were obtained from Tarapoto city, Province and Region of San Martin.

The ripeness index, observed when the pulp both fruits on pressure by hand that notified soft and bland, characteristic color to mature state and proper aroma of ripe fruit. Araza fruit used presents a diameter between 8 to 12 cm., weight 180 g., yield in pulp 77,30% and pH: 3; Pomarrosa fruit a diameter 4 to 7 cm.; height 6 to 8 cm.; weight 76 g.; yield in pulp 72.77% and pH :4,3.

The approximate chemical composition presented following content for both Araza and Pomarrosa; moisture: 86,84% and 85,40%; protein: 0,59% and 0,98%; fat: 1,59% and 0,92%; ash: 0,99% and 0,77% and carbohydrate: 9,89% and 11,93% respectively.

By these approximate chemical conditions it obtained the freezing initial point for Araza - 1.2°C and Pomarrosa -1.6°C, starting this and using SCHWARTZBERG (1981) and CHEN (1985) equations, it got values b (relationship binded water mass) of Araza 0,29 and Pomarrosa 0,225 M_s (relationship effective molecular weight) of Araza 310 and Pomarrosa 247,18 and E (relationship water molecular weight between effective molecular weight of solids) 0,05804 for Araza and Pomarrosa 0,072.

The predicted curves of ice content, apparent specific heat and enthalpy as much Araza as Pomarrosa, present similar behaviours to indicated by in another fruits reported by RIEDEL (1956), HELDMAN (1982), HSIEH et al (1977), GONZALES (1991), presenting an acceptable concord with estimate values by SCHWARTZBERG (1976, 1981) and CHEN (1985) equations.

Likewise the encountered freezing curves, present the typical behaviour for de foods.

I. INTRODUCCION

El fruto del Arazá (Eugenia stipitata Mc Vaugh) y el fruto de la Pomarrosa (Sysigiam jambos Alston) son frutales cultivados en la Región en una forma muy rudimentaria, sin tener en cuenta que en un futuro cercano, alcanzarán altos niveles de producción ya que son frutos que tienen una buena demanda en el mercado local y regional y por ende un valor económico; consecuentemente, será necesario procesar y conservar los frutos utilizando métodos apropiados como son: congelador de túnel, de faja, estacionario y congelador de lecho fluidizado, entre otros.

Es de mucha importancia, conocer las propiedades termofísicas de congelación de la materia prima por parte del tecnólogo, a fin de que pueda determinar los tiempos necesarios para que el alimento sea almacenado y su posterior procesamiento, además de optimizar la eficiencia de las operaciones de congelamiento y descongelamiento, así como éstos procesos, pueden ser mejorados.

El presente trabajo responde con razonable exactitud y con suficiente precisión los valores encontrados de las propiedades térmicas en estudio como (punto de congelación, calor específico, entalpía, entre otros) y varias suposiciones simplificadas que son válidas.

Extensivas investigaciones calorimétricas sobre la congelación de frutas, vegetales carnes y pescado, se reportan hoy en día con la finalidad de conocer sus propiedades termofísicas pero no se tienen datos sobre frutales nativos como por ejemplo el Arazá (Eugenia stipitata Mc Vaugh) y la Pomarrosa (Sysigiam jambos Alston) y es por ésta razón el interés por desarrollar este trabajo que persigue los siguientes objetivos :

OBJETIVOS:

- Determinar experimentalmente los parámetros termodinámicos de congelación (punto inicial de congelación y entalpía) del fruto del Arazá y la Pomarrosa.
- Estimar otros parámetros de congelación importantes como el peso molecular efectivo y calor específico aparente mediante ecuaciones matemáticas de correlación de resultados experimentales.

II.- REVISION DE BIBLIOGRAFIA

El conocimiento de las propiedades termofísicas de congelación de alimentos es muy necesaria para poder determinar procedimientos de producción y manejo convenientes, así como también el diseño adecuado de equipos a utilizar para tal fin. Siendo estas propiedades como la Entalpía, calor específico y conductividad térmica.

Numerosas investigaciones calorimétricas sobre la congelación de carne, pescado frutas y vegetales se vienen realizando en este campo HSIEH et al. (1977). En nuestro país como en la región, son escasos los trabajos sobre el tema en referencia, pudiéndose mencionar trabajos con caracol marino, camarón gigante de agua dulce y en lúcuma citado por CORONADO (1992). Las frutas al igual que las hortalizas, se prestan bien a la congelación aunque su producción con destino al comercio minoritario, si se compara con la de hortalizas para el mismo fin es relativamente pequeña tanto en los países europeos como en Estados Unidos.

No cabe duda de que en muchas frutas, las características originales se conservan mejor por congelación que por cualquier otro método de conservación conocido. Es natural que en las frutas congeladas, se produzcan modificaciones por congelación y descongelación que no se dan en las frutas frescas. La mayoría de las veces queda desfavorablemente afectada la consistencia (firmeza y constitución estructural) y con ella la capacidad de retención de jugos así como, en ocasiones, el color y el sabor, mientras que los componentes de aroma típicos de cada variedad, se conservan por lo general inalterables, HSIEH et al. (1977).

Normalmente, los frutos de colores oscuros, son más aptos para congelar que los de colores claros, y los de carne compacta más que aquellos cuya carne es blanda o contiene muchos espacios de aire; HELDMAN (1982).

2.1 EL FRUTO DEL ARAZA:

2.1.1 DESCRIPCION DE LA PLANTA:

El arazá es también conocida en la Amazonía Peruana como "Guayaba brasilera" y "Palillo ácido", se tuvo la creencia que esta especie procede del Brasil, pero también se cultiva en las regiones de Perú y Bolivia.

El arazá es una Myrtacea, tiene parte arbustiva con ramificaciones largas; alcanzando una altitud de 2-3 mts. Las hojas son opuestas, enteras, elípticas con apéndice acuminado y medidas que se aproximan de 8-12 por 3-6 cm. La inflorescencia es un racimo axilar conteniendo 3 ó 4 flores pedunculadas, 4 pétalos blancos y alrededor de 100 estambres.

El fruto es una baya globosa de color verde pálido a amarillento, posee de 5 a 15 semillas oblongas achatadas con medidas de 2 a 2.5 x 1 cm. y llegan a pesar hasta cerca de ½ kilo.

2.1.2 CLASIFICACION TAXONOMICA:

Según CALZADA (1980)

| | |
|-------------------|--|
| Reino | : Vegetal |
| División | : Antofita |
| Sub-división | : Angiosperma |
| Clase | : Dicotiledónea |
| Orden | : Myrtales |
| Sub-orden | : Myrtíneas |
| Familia | : Myrtácea |
| Género | : Eugenia |
| Especie | : Stipitata |
| Nombre común | : Guayaba brasilera |
| Nombre científico | : Eugenia stipitata |
| Sinonimia | : En español se le conoce como "Arazá" y en portugués "Araça Boi". |

2.1.3 CONSIDERACIONES AGROBOTANICAS:

a. Epoca de Cosecha:

Es una fruta que puede cosecharse durante todo el año, sin embargo presenta dos épocas bien marcadas; la primera entre los períodos de Marzo y Abril, y la segunda entre Octubre y Noviembre, siendo éstos los de mayor producción. Los meses de Agosto y Setiembre, la producción es mínima.

Fructifica a los 3 ó 4 años, si es bien abonada inicia su producción a los 18 meses después del plantío al campo definitivo; desarrollándose en suelos muy ácidos y pobres (arcillosos y arenosos), el fruto es voluminoso (pese a que su árbol es chico) con alto porcentaje de pulpa, de sabor agradable, se presta para ser aprovechada en la fabricación de jugos, concentrados, néctares, helados, jaleas, entre otros.

b. Modalidad de Cosecha:

Es un frutal, cuya cosecha, se hace en forma manual siendo recomendable realizarla cuando la coloración del fruto es verde amarillenta, para que pueda soportar el transporte desde el lugar de cosecha hasta el lugar del expendio o hasta la planta procesadora para su transformación.

Se ha comprobado que el arazá es un fruto altamente perecible, debido a esto se recomienda su transporte en envases de poca profundidad generalmente de madera y de paredes sólidas, si es necesario en capas superpuestas al igual que las manzanas.

c. Enfermedades:

En el año 1984, en el centro experimental de Tulumayo ubicado a 23 Km. de la ciudad de Tingo María se dió una plaga, que era una especie de roya amarilla que atacaba al envés de la hoja y traía luego complicaciones al fruto formándose en éste, manchas de color marrón amarillentas que muchas veces traía como consecuencia pérdidas, ya que en el interior del fruto se producía una especie de podredumbre. Se

aplicó el fungicida Bayletón al 5 por mil con resultados algo satisfactorios, PINEDO (1981)

La mosca de la fruta (*Anastrepha* sp.), constituye la principal plaga del arazá, pero el ataque de este insecto, no impide la utilización en forma óptima de la fruta.

No se cuenta a la fecha con métodos químicos efectivos de control, pero se viene trabajando con insectos (control biológicos) conjuntamente con organismos del estado como SENASA, PINEDO (1981).

d. Variedad:

Según Pinedo (1981), esta especie presenta, escasa variabilidad; se ha observado caracteres diferenciales de arazá que posiblemente determine la existencia de dos tipos:

Tipo A: Forma redondeada de los frutos, mayor peso, hojas más pequeñas, color verde oscuro y ligeramente rugosos.

Tipo B: Forma elíptica o achatada de los frutos, menos peso, hojas más grandes, color verde claro y plomos.

2.1.4 COMPOSICION QUIMICA DEL FRUTO:

Cuadro 1: Composición química del fruto de arazá (*Eugenia stipitata* Mc. Vaugh), en base húmeda x 100 grs.

| COMPONENTES | PROMEDIO DE 4 FRUTOS DE ARAZA |
|--------------------------|-------------------------------|
| | % |
| Humedad | 85.92 |
| Proteínas | 0.78 |
| Grasas | 1.59 |
| Fibra | 0.99 |
| Carbohidratos | 9.87 |
| Cenizas | 0.28 |
| Acido cítrico | 2.14 |
| ° Brix | 6.20 |
| pH | 3.2 |
| Ac. Ascórbico(mg/100 gr. | 55.00 |

Fuente: SANTANDER (1986). TESIS -UNAS-Tingo María -Perú.

Cuadro 2: Contenido vitamínico y proteico del fruto de Arazá y de otros frutos nativos y no nativos de consumo habitual (100 gr. B. H.).

| FRUTOS NATIVOS | Proteínas (grs.) | Vit.A (mg) | Vit.B1 (mg.) | Vit.C (mg.) |
|--------------------------|-----------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|
| Aguaje | 2.3 | 4.58 | 0.12 | 0.00 |
| Cocona | 0.9 | 0.18 | 0.06 | 4.5 |
| Guayaba | 0.5 | 0.00 | 0.04 | 9.8 |
| Maracuyá | 1.2 | 1.62 | --- | 20.8 |
| Arazá (*) | 0.62 | 0.62 | 0.01 | 37.6 |
| FRUTOS NO NATIVOS | | | | |
| Durazno | 0.6 | 0.00 | 0.03 | 15.3 |
| Mango | 0.4 | 1.03 | 1.03 | 24.8 |
| Manzana | 0.3 | 0.00 | 0.03 | 1.30 |
| Naranja | 0.6 | 0.05 | 0.09 | 92.3 |
| Piña | 0.4 | 0.05 | 0.04 | 25.0 |

Fuente: La Composición de los alimentos peruanos. Instituto de Nutrición - Ministerio de Salud. Lima Perú, 1979.

(*) : Laboratorio Tapa-La Molina y Revista del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas miscelánea Nº 231, 1982.

2.1.5 PRODUCCION NACIONAL DEL ARAZÁ:

a) Localización:

Este frutal, está todavía en la actualidad muy poco difundido, lo que se está haciendo, es propagarlo a través de plántones en los centros de experimentación, tanto de Tingo María (Centro Experimental de Tulumayo); como de Iquitos (Centro Experimental San Roque). Tal es así, que se encuentran plantaciones en zonas aledañas del ambiente rural de Iquitos desde mucho tiempo atrás sembrando y difundiendo las bondades de este cultivo.

En el ámbito urbano mismo de Iquitos; es la Estación Experimental de San Roque, lo que cuenta en la actualidad con más de 3,000 plantas en producción y de distintas

Edades. Esto arroja aproximadamente 200-350 Tn/Ha. año de fruta fresca.

Otra zona es Requena, que también cuenta con plantaciones pero en forma aislada, lo que no hace posible su aprovechamiento en forma racional; así también hay plantaciones aisladas a orillas de los ríos "Tapiche y "Avispa".

En cuanto a la ciudad de Tingo María, la mayor cantidad de plantaciones (1,500 plantas) se encuentra en el Centro de Experimentación de Tulumayo que viene siendo manejada por la Universidad Nacional Agraria de la Selva que arroja la cantidad promedio de 200 Tn/Ha. año; la ciudad de Pucallpa cuenta algunas plantaciones en la Estación Experimental perteneciente al Ministerio de Agricultura con el Programa de Frutales Nativos y también la Empresa Privada a través de la Empresa Backus y Johnston tiene dentro de sus planes sembrar este frutal ya que lo viene haciendo con camu camu, copoazú y viene comercializándolo como pulpa congelada al extranjero (Japón).

Referente a la Región de San Martín, el potencial productivo de este frutal en la actualidad, es un tanto bajo pero con proyecciones futuras significativas ya que es una planta que produce todo el año y su aceptación por el público como fruta y plantón va en aumento.

2.1.6. USOS:

El fruto del arazá, se presta para ser aprovechado en la elaboración de jugos, néctares jaleas. Otras formas de aprovechar la pulpa del arazá, es en la elaboración de concentrados, que pueden ser utilizadas subsiguientemente en otras líneas de elaboración de productos como mermeladas, helados, licores y otros; con tendencia a la exportación a fin de generar divisas, tal es así que en los años de 1982 al 1984 se exportó al mercado europeo, pulpa congelada de arazá, así mismo la Empresa Backus y Johnston viene haciendo lo mismo con algunas frutas tropicales como es la pulpa congelada al vacío de camu camu, al mercado japonés.

2.2 EL FRUTO DE LA POMARROSA:

2.2.1 DESCRIPCION DE LA FRUTA:

La pomarrosa, al mismo tiempo que es frutal es también una planta ornamental, siendo frecuente verlo en bosques y jardines de las ciudades y pueblos de la Selva Peruana.

Pertenece a la familia Myrtaceae, es de origen asiático específicamente del archipiélago Malayo, su corteza es rugosa, de color castaño, el arbusto tiene una ramificación bastante densa que empieza más o menos a partir de 2 metros de altura, la planta llega a medir hasta la copa de 10 a 12 mts. de alto.

Su inflorescencia es un racimo axilar, sus flores son hermafroditas de 3 - 4 cms. de largo, receptáculo cónico bien desarrollado, superficie lisa, pedicelo corto, cilíndrico, consta de 4 sépalos libres y carnosos, cóncavos y redondeados.

El fruto es parecido a la pera de 5 a 7 cms. de alto (largo) y de 4 a 6 cms. de diámetro (ancho), de color rojo oscuro debido a un pigmento que es fuerte y penetrante capaz de manchar la parte carnosa al sufrir un golpe o magulladura, el agua lo puede volver de color lila). Este pigmento es una capa delgada de aproximadamente 0.5 mm. de espesor que está protegida por una membrana finísima. Esta membrana muy fina junto con la capa de pigmento rojo, desempeña el papel de cáscara.

Se sabe que el fruto está maduro, cuando se pone de color rojo intenso (rojo oscuro) diferenciándose del verde por ser éste de color rojo ligeramente claro.

La parte carnosa (endocarpio) que tecnológicamente se conoce como pulpa, es de color blanco, de sabor agrídulce y esponjosa propia de la pomarrosa; en la parte más interna (centro de la fruta), protegida por la pulpa, se encuentra una semilla globosa, semilla que contiene una almendra de color verde y sabor amargo que puede ser tóxico, protegido de una capa fibrosa de color castaño.

Este fruto se caracteriza por presentar, por más madura que esté, cuatro sépalos persistentes en el ápice.

2.2.2 CLASIFICACION TAXONOMICA:

Según CALZADA (1980)

| | |
|-------------------|---------------------------------|
| Reino | : Vegetal |
| Familia | : Myrtaceae |
| Género | : Eugenia |
| Nombre común | : Pomarrosa |
| Nombre científico | : <u>Syzigium jambos</u> Alston |

2.2.3 CONSIDERACIONES AGROBOTANICAS:

a) Época de Cosecha:

Existen dos épocas de cosecha bien marcadas:

La primera época de producción la de mayor cuantía, ocurre entre los meses de Mayo y Junio que tienen importancia predominante para uso artesanal por presentar fructificación uniforme y de mayor calidad.

La segunda época ocurre entre los meses de Octubre a Diciembre, aunque no tiene fructificación uniforme, tampoco le resta calidad para su aprovechamiento industrial.

b) Modalidad de Cosecha:

Es un fruto muy frágil y perecible, por tal motivo, la cosecha debe de hacerse en forma muy cuidadosa.

En cuanto a la forma de cosecha practicada en nuestra zona, se realizan de diferentes formas, siendo las más comunes las siguientes:

1. La persona que cosecha, trepa el árbol y desde arriba deja caer los frutos hacia otra persona que recibe con las manos.
2. Otra forma de cosechar es mediante una redcilla sujeta al extremo de una

pértiga de madera o metal.

c) Estado de Madurez:

Cabe recalcar que en esta fruta la diferencia de calidad en sabor y aroma, es más notable que en otras frutas entre los que se cosecha al estado inmaduro y aquella que se separa del árbol estando completamente maduro (color rojo oscuro). Además, si se cosecha en estado intermedio de madurez (semimaduro) no ocurrirá la madurez post-cosecha como ocurre con otras frutas, I.L.C.A (1989)

El fruto se caracteriza además por presentar una característica suave de la pulpa al presionarse con los dedos.

Es así que para obtener una buena calidad de fruta se debe cosechar necesariamente en la madurez fisiológica.

2.2.4 COMPOSICION QUIMICA DEL FRUTO:

Cuadro 03: Contenido en 100 gr. de la parte comestible.

| CARACTERISTICAS | COMPONENTES MAYORES (grs.) |
|---------------------------|-------------------------------|
| Agua | 86.10 |
| Proteínas | 0.80% |
| Grasas | 0.75% |
| Carbohidratos | 11.01% |
| Fibra | 0.80% |
| Cenizas | 0.71% |
| Acido cítrico | 0.45% |
| °Brix | 6.10 |
| pH | 3.50 |
| Ac. Ascórbico (mg/100 gr) | 47.35 |

Fuente: I.L.C.A (1989). Revista del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas
Costa Rica.

2.2.5 PRODUCCION NACIONAL DE POMARROSA EN EL PERU:

Según datos del censo agrario correspondiente a los años 1984 existen 500 hectáreas

de superficie sembrada a nivel nacional y va en aumento, lo cual indica en forma aproximada unas 500,000 plantas a nivel nacional (1 planta = 25 m²).

Es en la Región de Loreto donde existe mayor superficie cultivada y en crecimiento, acaparando la mayor producción nacional.

En la Región San Martín, no existen sembríos a gran escala, sólo como plantas ornamentales en su mayor parte y algunos para proporcionar sombra en parques y alamedas.

2.2.6. USOS:

- El fruto de la pomarrosa tiene variados usos en la industria de los alimentos : elaboración de Licores, mermeladas, jaleas, en la producción de almíbar, conservas en mitades, jugos, néctares, así mismo en estado pintón se puede utilizar para la producción de fruta confitada debido al gran porcentaje de pulpa que presenta, U.N.A.L.M (1972)
- Asimismo en algunas localidades del Brasil se consume en forma de budines y también almibarados o azucarados de tal forma que se pueda conservar por mucho tiempo, también es un ingrediente en la producción de "cueros" de frutas que mezclado con frutas agrias como la naranja u otro cítrico se elabora estas golosinas con muy buena demanda en los Estados Unidos de Norteamérica, U.N.A.L.M (1972).

2.3. EL PROCESO DE CONGELACION:

2.3.1 FUNDAMENTOS TEORICOS:

Los procesos que se suceden en los productos dependen en buena medida de su temperatura. Una propiedad fundamental de la materia es el movimiento de sus moléculas. La intensidad de este movimiento viene determinada por la temperatura y por el estado de agregación del cuerpo. En el estado gaseoso, realizan las moléculas

un movimiento característico y llenan la totalidad del espacio libre; en estado líquido las moléculas reunidas en grandes acúmulos, se mueven dentro de un espacio muy estrecho; en estado sólido las moléculas aparecen exactamente ordenadas, por lo general formando cristales, siendo capaces entonces de realizar un movimiento de oscilación muy limitado. A la temperatura del cero absoluto (0°K) desaparece todo movimiento. El grado de movilidad de las moléculas influye sobre la frecuencia de los choques, lo que a su vez ejerce influencia sobre la intensidad de los procesos físico-químicos que discurren en un cuerpo dado y modifica las propiedades iniciales del cuerpo en cuestión, GRUDA Y POSTOLSKI (1986).

La congelación se usa para la conservación de los productos durante un largo tiempo. Este tipo de conservación, consiste en congelar la mayor parte del agua que contiene el producto a una T° más baja que el punto de congelación, que por lo general es de -1.8°C , GRUDA Y POSTOLSKI (1986).

Los alimentos congelados (frozen foods, en Inglés; produits surgelés, en Francés) tiene la misma calidad que los no congelados, es decir, que los frescos; e incluso superior a los que de un modo absoluto se califica de tales, y que no han recibido tratamiento por frío siempre que la congelación se haya efectuado convenientemente y que los establecimientos minoristas apliquen las medidas adecuadas para su conservación. Y es que los denominados alimentos frescos pueden perder calidad y alterarse por procesos de índole químico o físico, por lo que en más de una ocasión sería más acertado calificarles de relativamente frescos que de frescos. Al consumir carnes preparadas, pescados, aves, hortalizas, etc. no es fácil distinguir si se trata de alimentos congelados o frescos si se consumen previa preparación. El hecho de que los manjares que se han preparado a partir de alimentos congelados tengan peor sabor, nada dice en contra del sistema de congelación en si; mas bien, es exponente de que no han recibido la manipulación adecuada, KLEEBERG (1986).

El que la calidad disminuya puede obedecer a que la especie o la variedad de determinado alimento no sean aptos para congelación, a que la materia prima tuviese

ya los defectos hallados luego, a que la elaboración, operaciones previas y congelación posterior no se realizaran del modo conveniente, o bien a que el envase no reúna las condiciones exigidas, por último, y esto podría ser lo más frecuente, los defectos de calidad pueden deberse a que los medios de transporte y los locales de almacenamiento no apliquen las normas establecidas, KLEEBERG (1986).

La calidad de los productos congelados, depende esencialmente de las características de la materia prima, de las condiciones de la elaboración del envasado y de la T° y duración del período de almacenamiento, KASAHARA (1986). La calidad (olor, sabor, aspecto general: como color, forma), consistencia (firmeza) y contenido de nutrientes (vitaminas por ejemplo) de sus productos congelados nunca puede superar a los de la materia prima en estado fresco del que proceden, y es por esto que solo debe congelarse materia prima de la mejor calidad y en total estado de frescura, KASAHARA (1986).

Cuando se trata de frutas y hortalizas es muy importante elegir las variedades más idóneas para congelar y el estado de maduración más favorable para lo mismo.

En el caso de las hortalizas, el escaldado o blanqueado previo influye notablemente en la conservación de los productos una vez congelados; operación que ha de controlarse cuidadosamente para lograr una calidad óptima. En la calidad de la carne de vacuno son factores a considerar la raza, alimentación, edad al sacrificio, la uniformidad de los canales y de la manipulaciones de que han sido objeto, KASAHARA (1986).

Como norma general, debe procurarse vender al menor tiempo posible entre el momento de la recolección de las plantas o del sacrificio de los animales y el de la congelación de la materia prima obtenida. Todo almacenamiento previo a la congelación, afecta indefectiblemente la calidad del producto acabado. La congelación, no enmascara defecto alguno de la materia prima; de haberlo, se hace patente a más tardar, después de la congelación ó cuando se prepara el producto

para su consumo. Por otra parte, dichas operaciones (descongelación y preparación) han de efectuarse de forma que la calidad del producto no sufra modificaciones, KASAHARA (1986).

2.4 EL AGUA EN ALIMENTOS CONGELADOS:

2.4.1 EL AGUA Y LAS PROPIEDADES TERMICAS DE LOS ALIMENTOS CONGELADOS:

El papel del agua en el establecimiento de las propiedades de un alimento congelado, es evidente por diversas razones. El agua es un componente fundamental de las materias primas y de los alimentos. El contenido de agua en los alimentos está sometido a grandes oscilaciones. En los productos vegetales viene a ser de un 80% (guisantes) o 95% (tomates, pepinos), en las diversas clases de carne, fluctúa entre el 50% (carne de cerdo, grasa) y el 75% (carne de ternera), en las aves entre el 53% (carne de ganso) y un 75% (carne de pollo), en el pescado, el 53% (lamprea) y más del 80% (bacalao), GRUDA Y POSTOLSKI (1986). Adicionalmente, el proceso de congelamiento causa un cambio de fase en el agua y las propiedades de los productos congelados son influenciados significativamente en función a las diferencias del agua en los estados congelado y no congelado, el agua es un disolvente que permite los procesos de difusión y las siguientes reacciones químicas y bioquímicas. HELDMAN (1982).

El proceso de congelación de los sistemas biológicos transcurre de manera algo distinta a la congelación de soluciones físicas, la principal diferencia resulta de la constitución tisular de aquellos productos. Los jugos celulares están incluidos en el interior de una membrana celular que posee propiedades especiales. Debe recalcarse también que la temperatura crioscópica de sustancias tan complejas como son los sistemas biológicos no se mantienen constantes durante todo el proceso de congelación. A medida que progresa la congelación de una cantidad cada vez mayor de agua y aumenta la concentración de la solución residual, disminuye la temperatura crioscópica del sistema. GRUDA Y POSTOLSKI (1986).

La solidificación del agua es un importante factor que inhibe este proceso, en los alimentos no aparece el agua nunca en estado puro sino en forma de soluciones, por añadidura una parte del agua se halla firmemente ligada en las estructuras protéicas y sacáridas. Estos hechos influyen esencialmente sobre las propiedades físicas del agua y también sobre el propio proceso de congelación. El agua (forma con estas sustancias una solución con dispersión de las moléculas) modifica sus propiedades físicas al convertirse en hielo como indica el Cuadro 4. Es también importante como están unidas las sustancias a las moléculas del agua. La forma de esta ligazón puede ser muy variable. Una parte del agua que está solidariamente unida a las sustancias protéicas, no se congela nunca, ni siquiera con temperaturas muy bajas, circunstancia que influye sobre las propiedades físicas de la solución congelada y provoca también el descenso de la entalpía específica durante la solidificación. GRUDA Y POSTOLSKI (1986)

Cuadro 04 : Propiedades Físicas del agua y el hielo.

| CARACTERISTICAS | AGUA | HIELO |
|--|------------------------|-----------------------|
| Calor específico C. En Kj/Kg. °K | 4,232 | 2,098 |
| Densidad en Kg/m ³ | 1,000 | 917 |
| Coefficiente de conductividad calórica en W/m. °K | 0.59 | 2.24 |
| Coefficiente de difusividad térmica en m ² /s | 0.214x10 ⁻⁶ | 1.16x10 ⁻⁶ |
| Constante eléctrica, en f/m | 88 | 35 |

Fuente: GRUDA Y POSTOLSKI (1986)

2.4.2 AGUA LIGADA

El agua contenida en los alimentos, se divide en agua libre, agua unida a la estructura tisular de manera mediata y agua ligada por hidratación.

El agua libre, presente entre las células es un disolvente de los compuestos orgánicos contenidos en el producto y de las sustancias minerales que participa de manera inmediata en la totalidad de las transformaciones bio- físico- químicos que suceden en el producto. Es una particularidad del agua libre que salga del producto con mucha facilidad bajo la acción de factores externos, entre otros, en procesos de sublimación y

durante el depósito en congelación o en forma de goteo durante el descongelado, la mayor cantidad de agua del producto está unida y se halla de manera mediata a la estructura tisular a través de puentes de hidrógeno y fuerzas electrostáticas. Esta agua, no exhibe en comparación con el agua ligada ninguna diferencia esencial de comportamiento, así también tiene entre otras propiedades, el carácter de un disolvente y lo mismo que el agua libre, participa en las transformaciones, GRUDA Y POSTOLSKI (1986)

El agua de hidratación es aquella parte del agua contenida en el producto, cuyas moléculas dipolares se unen sólidamente mediante absorción con iones y grupos protéicos polares, así como a veces con polisacáridos.

El agua de hidratación no está sujeta a ninguna influencia externa y tampoco participa en la transformación de fases que acontece durante el proceso de congelación.

La fracción del agua ligada de hidratación es relativamente constante oscilando alrededor del 10% de la cantidad total de agua del producto, las proporciones entre el agua libre y el agua unida inmediatamente dentro de la estructura tisular varían dentro de una amplia zona bajo la influencia de diversos factores que actúan durante el procesamiento y almacenado.

El proceso de congelación se caracteriza principalmente por la proporción existente entre la cantidad de agua congelada y la cantidad total de agua. La cantidad de agua congelada determina las propiedades físicas del artículo congelado, GRUDA Y POSTOLSKI (1986), indican que en el pescado se obtienen valores de agua ligada de 0.35 kg/kg. En la carne con diferentes contenidos de agua se obtiene valores cercanos a 0.35 kg/kg. RIEDEL (1956), mencionado por DUCKWORTH (1969) citado por GRUDA Y POSTOLSKI (1986) reportó valores de 0.24 a 0.27 kg/kg. para carne y músculo de pescado y para vegetales de 0.18 a 0.25 kg/kg usando un calorímetro.

2.5 ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES TERMODINAMICAS DE UN ALIMENTO A TEMPERATURA DE CONGELACION

2.5.1 GENERALIDADES.

El Tecnólogo en alimentos tiene muchas veces la necesidad de predecir transferencias de calor en el alimento congelado o descongelado que le permita determinar procedimientos de producción y manejos convenientes. Sin embargo la confiabilidad de estas predicciones está directamente relacionada a la exactitud para estimar valores de propiedades termofísicas del sistema de alimentos en el rango de temperatura de congelación. HSIEH et al (1977), indicado por SUCCAR (1985). Estos valores incluyen entalpía y/o calor específico aparente y conductividad térmica. Métodos teóricos y empíricos han sido desarrollados a fin de predecir estas propiedades de alimentos congelados.

Las ecuaciones teóricas son usualmente desarrolladas sobre las bases de las propiedades termofísicas de los componentes del alimento y/o suposición de aquellos alimentos que se comportan como un sistema de solución binaria que idealizada las ecuaciones empíricas están basadas sobre el puro conocimiento de los datos termofísicos de los alimentos medidos a través de procedimientos experimentales, como también la aplicación de técnicas estadísticas y matemáticas. SUCCAR (1985).

SUCCAR (1985), menciona que estudios técnicos avanzados han sido reportados por HELDMAN (1982), HSIEH et al. (1977), SCHWARTZBERG et al. (1976) y CHEN (1985) allí quizás hay diferencias significativas entre las propiedades termofísicas predecidas y experimentales cuando se usa métodos teóricos basados en suposiciones grandemente simplificadas sobre la composición de sistemas alimentarios. SUCCAR(1985), confirma que, sin embargo estos métodos son importantes, puesto que permiten aproximarse al comportamiento de las propiedades termofísicas del alimento congelado, cuando los datos experimentales no están disponibles. Las ecuaciones empíricas son simples para usar y presentan una muy buena correlación con datos experimentales, así los modelos últimos son de especial interés para el Tecnólogo de Alimentos. SUCCAR (1985).

2.5.2 RELACIÓN DE TRANSFERENCIA DE CALOR FUNDAMENTAL

HELDMAN (1982) afirma que uno de los parámetros básicos en el área de procesamiento de alimentos y sus aplicaciones es el contenido de calor o entalpía. En transferencia de calor este particular parámetro está definido por la siguiente ecuación.

$$H = U + PV \quad \dots\dots\dots (1)$$

Donde U es la energía interna de un sistema, P es la presión absoluta y V es el volumen del sistema. Algún cambio en la entalpía sería debido a un cambio en el contenido de calor del sistema, cuando el cambio ocurre a una presión constante. La entalpía (H) entonces queda bien definida como una función de estado, junto con otros parámetros básicos, tales como la energía interna (U), temperatura (T), presión (P) y volumen (V).

$$C_p = \left. \frac{\partial H}{\partial T} \right|_P \quad \dots\dots\dots (2)$$

Como se indica en la ecuación (2), el calor específico a presión constante, representa el cambio en entalpía o contenido de calor para un cambio dado en temperatura, cuando el cambio ocurre a una presión constante. Este parámetro toma valores diferentes, dependiendo del producto considerado. Si los valores de este parámetro termodinámico son conocidos, esto es casi exclusivamente usado en el cálculo del contenido de calor o entalpía de un producto sobre una referencia dada, HELDMAN (1982).

Muchos procesos utilizados en la industria alimentaria involucran un cambio de estado dentro del producto. La transferencia de calor puede ser utilizada para describir o explicar las condiciones existentes, probablemente una de las más relevantes propiedades del agua en los alimentos es la depresión del punto de congelamiento. Dado

que todos los productos alimenticios contienen relativamente grandes cantidades de humedad o agua , en la cual varios solutos, están presentes. La magnitud de esta depresión del punto de congelamiento se convierte en una función directa del peso molecular y concentración de solutos en el producto alimenticio y dentro de una solución en el agua. HELDMAN (1986).

La expresión o expresiones que predicen en gran parte la depresión del punto de congelamiento, puede ser derivado de la relación transferencia de calor, basada en el equilibrio entre los estados de un sistema.

2.5.3 SUPOSICIONES Y MÉTODOS TERMODINÁMICOS

Uno de los parámetros básicos de la transferencia de calor, usado en la descripción del cocimiento y congelamiento de productos alimenticios, es el calor específico a presión constante, definido por la siguiente ecuación:

Los alimentos comienzan a congelar a temperaturas más bajas que la del agua pura y el congelamiento se va desarrollando en un descenso de la temperatura y no a una única temperatura. Este comportamiento es típico debido a que las fases acuosas de los tejidos animales y vegetales y de numerosas preparaciones alimenticias, son soluciones relativamente diluidas de un gran número de solutos. El tratamiento conduce a una ecuación exacta para la curva de descenso del punto de congelamiento en función de la concentración de solutos en la solución .KIECKBUSH (1986) .Para el propósito del análisis fueron hechas las siguientes cinco suposiciones, citado por CHEN (1985):

- a) El alimento, es un sistema heterogéneo en un estado de equilibrio termodinámico a presión constante.
- b) El sistema se encuentra en todo instante por encima de la Temperatura eutéctica.
- c) La ley de Raoult es aplicable.
- d) La capacidad térmica de la fase solución es una función lineal de la concentración y es independiente de la T° .
- e) Las capacidades térmicas de la fase sólida, son constantes.

Ya que la Ley de Raoult., es válida sólo para una solución ideal; su aplicación es limitada para alimentos y necesitan ser establecidos experimentalmente sobre la base de las suposiciones arriba mencionadas. CHEN (1985), citado por ALVA (1990) conjuntamente con las relaciones transferencia de calors basados en el equilibrio entre los estados de un sistema. HELDMAN (1982), obteniendo la siguiente fórmula integral del descenso crioscópico:

$$\ln A_w = \frac{M_w \Delta H_o}{R} \left[\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right] \dots\dots\dots(3)$$

Donde: A_w es la actividad de agua, M_w es el peso molecular del agua pura (18 Kg/Kg-mol); T_o , el punto de congelación del agua (273.15 °K); T , el punto de congelación del alimento (°K) , ΔH_o el calor latente de fusión (Kcal/Kg), R la constante de la ley de los gases ideales (1.987 Kcal/Kg-mol °K); dado que a bajas concentraciones de solutos, los alimentos pueden ser tratados como soluciones ideales, Δw puede ser aproximado a X_w , que es la fracción molar del agua en el alimento. Por consiguiente:

$$\ln X_w = \frac{M_w \Delta H_o}{R} \left[\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T} \right] \dots\dots\dots(4)$$

Utilizando la definición de fracción y la ley de Raoult, la fracción molar del solvente (agua), X_w queda como:

$$A_w \approx X_w = \frac{\frac{n_w}{M_w}}{\frac{n_w}{M_w} + \frac{n_s}{M_s}} \dots\dots\dots(5)$$

Reordenando la ecuación (5), resulta :

$$A_w \approx X_w = \frac{n_s}{n_w + \frac{n_s M_w}{M_s}} \dots\dots\dots(6)$$

Donde n_w , es la fracción de agua no congelable a temperatura de congelación (Kg/Kg de alimento); n_s , la fracción de sólidos totales(solubles e insolubles)

(Kg/Kg de alimento); M_w , el peso molecular del agua (18 Kg/Kg-mol), $E = M_w/M_s = 18 / M_s$.

Según ALVA (1990), la posibilidad de predecir la fracción de agua no congelada versus temperatura, ha sido observada por HELDMAN (1982). Este autor observó una buena concordancia entre los valores predecidos y los datos experimentales en frutas y jugos, con resultados menos concordantes para carne y otros productos cárnicos, donde la interacción entre el agua y los componentes de los productos es más pronunciada. Especuló HELDMAN (1982) que la falta de concordancia entre los valores producidos y experimentales, está asociada con las condiciones no ideales y no diluídas existente en el producto, constató además que la exacta predicción de la relación porcentaje de agua no congelada versus temperatura dependía del dato exacto del punto inicial de congelación del alimento, pues una variación de 0.22 °C duplicaba los errores en los valores encontrados. SCHWARTZBERG (1976) ha utilizado la siguiente relación del descenso crioscópico:

$$\ln A_w = \frac{18\Delta H(T - T_o)}{RTT_o} \dots\dots\dots (7)$$

Donde: ΔH es el calor de fusión promedio a lo largo de T_o y T , y es equivalente a:

$$\Delta H = \Delta H_o - 0,5\Delta C_p(T_o - T) \dots\dots\dots (8)$$

Aquí Δc_p , es la diferencia entre C_w y la capacidad calorífica del hielo.

El análisis de los resultados obtenidos por HELDMAN(1982) llevó a SCHWARTZBERG (1985) a reformular la expresión para la fracción molar X_w ; basado en los trabajos de DUCKWORTH (1969) citado por SCHWARTZBERG (1976).Incluyó en ella un nuevo parámetro que representaba aquella fracción de agua no congelada del alimento, conocido como "agua ligada". La nueva expresión planteada fue la siguiente:

$$Aw \approx X_w = \frac{n_w - bn_s}{n_w + (E - b)n_s} \dots\dots\dots(9)$$

Donde b es la fracción de "agua ligada" (Kg/Kg de sólido). reemplazando al equivalente de Aw ; ecuación (9) en la ecuación (7) después de una serie de consideraciones y simplificaciones se obtuvo que:

$$\frac{En_s}{(n_w - bn_s)} = \frac{18\Delta Ho(T_o - T)}{RT_o^2} \dots\dots\dots(10)$$

Si en la ecuación (10) se reemplaza n_w por $n_{w_o} = 1 - n_s$ y $T_i - T_o$ por t_i , despejando, se obtiene que:

$$t_i = \frac{-En_sRT_o^2}{18\Delta Ho[1 - n_s(1 + b)]} \dots\dots\dots(11)$$

Donde t_i es numéricamente igual a la temperatura inicial de congelación expresado en °C.

2.5.4 CONTENIDO DE HIELO:

La relación agua - hielo puede ser expresada según SCHWARTZBERG (1976) y CHEN (1985) como:

$$n_h = n_{w_o} - n_w \dots\dots\dots(12)$$

Donde n_h es la fracción de hielo formado (Kg/Kg. de alimento), n_{w_o} la fracción inicial de agua (Kg/Kg. de alimento) y n_w , la fracción de agua no congelada (Kg/Kg. de

alimento). Reemplazando n_w en la ecuación (12), SCHWARTZBERG (1976) obtuvo la siguiente ecuación simplificada del contenido de hielo.

$$n_h = (n_{w_0} - bn_s) \left(\frac{T_i - T}{T_0 - T} \right) \dots\dots\dots(13)$$

Donde n_s , es la fracción de sólido (Kg/Kg. de alimento), T_i la temperatura inicial de congelación del alimento (°K), T la temperatura de congelación (°K), T_0 la temperatura de congelación del agua pura (273.15 °K). CHEN (1985) obtuvo una expresión diferente para la relación contenido de hielo - temperatura expresado como:

$$n_h = \frac{n_s}{M_s} \frac{Rt_0^2}{\Delta H_0} \frac{(t_i - t)}{tt_i} \dots\dots\dots(14)$$

Donde $t = (T - T_0)$; ($T_0 = 273.15$) °K y es numéricamente igual a la temperatura de congelación en °C ($-40 \leq + < 0$ °C), T la temperatura de congelación (°K), $t_i = (t_i - t_0) = (t_i - 273.15)$ °K y es numéricamente igual a la temperatura inicial de congelación (°K).

Una expresión que ha sido sucesivamente utilizada por CHEN (1985), para el cálculo de peso molecular efectivo de los sólidos (M_s) de carne de res, pescado y jugos de frutas, néctares y otros alimentos; así por ejemplo se aplicó esta relación con buenos resultados en jugos de naranja, siendo la relación matemática como la que a continuación se muestra:

$$M_s = \frac{n_s R T_0^2}{t t_i \left[\frac{\Delta H_f}{t - t_r} - 0,37 - 0,3 n_s \right]} \dots\dots\dots(15)$$

Donde ΔH_f es la entalpía por debajo del punto de congelación (Kcal/kg), $tr = Tr - T_o$ ($Tr = 273,15$) °K y es numéricamente igual a la temperatura de referencia (°K). Valores experimentales de entalpía en el intervalo de 10°C por debajo del punto inicial de congelación fueron remplazados en la ecuación (15) para el cálculo de Ms. El punto inicial de congelación de cada alimento estudiado fue determinado del punto de inflexión de la curva de entalpía versus temperatura.

El contenido de hielo expresado como un porcentaje del contenido total de humedad inicial del alimento, puede obtenerse de la siguiente relación. HELDMAN (1982)

$$h = \frac{100 \, nh}{n_{wo}} \quad \dots\dots\dots (16)$$

Donde h, es el contenido de hielo (%), nh la fracción de hielo (Kg/Kg de alimento) y nwo, el contenido inicial de humedad (Kg/Kg de alimento)

2.5.5 VELOCIDAD DE FORMACIÓN DE HIELO CON LA TEMPERATURA

La velocidad de formación de hielo "S" es definida como kilogramo masa de hielo formado por grado de descenso en la temperatura por kilogramo de alimento y expresado como:

$$S = \frac{\partial nh}{\partial T} \quad \dots\dots\dots (17)$$

Cuando n_w es deducido de la ecuación (5) y su equivalencia reemplazado en la ecuación (7) se obtiene:

$$n_h = \frac{n_{wo} - En_s A_w}{1 - A_w + bn_s} \quad \dots\dots\dots (18)$$

SCHWARTZBERG (1981), mediante la derivación parcial de la ecuación (18); obtuvo la siguiente expresión oficial para "S".

$$S = (n_{wo} - bn_s) \frac{(T_o - T_i)}{(T_o - T)^2} \quad \dots\dots\dots (19)$$

Cuando n_w es despejado de la ecuación (5) y su equivalente reemplazado en la ecuación (12), se obtiene:

$$n_s = n_{w0} - E n_s \frac{A_w}{1 - A_w} \quad \dots \dots \dots (20)$$

Mediante la derivación parcial de la ecuación (20), CHEN (1985) obtuvo la siguiente ecuación simplificada para "S".

$$S = \frac{n_s}{M_s} \frac{R T_o^2}{\Delta H_o} \frac{1}{t^2} \quad \dots \dots \dots (21)$$

2.5.6. EVALUACION DE PARAMETROS DEL PUNTO DE CONGELACION:

HELDMAN (1974), mencionado por ALVA (1990), ha tratado M_s , y de aquí E , como una constante empírica, la cual es determinada del propio punto de congelación del alimento. SCHWARTZBERG (1976), consideró que en esencia b , podría ser considerado también como una constante empírica, la cual simultáneamente estima la cantidad de "agua ligada" y corrige las desviaciones de la idealidad.

Si E ó b se conoce para un alimento, el valor que resta, puede ser determinado del punto inicial de congelación (T_i) a un conocido contenido de agua. Una ecuación revisada y propuesta por SCHWARTZBERG (1976) es la siguiente:

$$E = (N - b) \frac{(1 - A_w)}{A_w} \quad \dots \dots \dots (22)$$

Donde N , es el peso del agua por unidad de peso de sólidos y A_w es determinado de la ecuación (7) para $T = T_i$. Si puntos de congelación están disponibles para los diferentes contenidos de agua (que pueden ser obtenidos concentrando o secando parcialmente una porción del alimento a condiciones controladas de temperatura previo a la congelación), la ecuación que sigue, presentada por SCHWARTZBERG (1981), puede ser usada para el cálculo de b .

$$b = \frac{N_1 A_{w2} - N_2 A_{w1} + A_{w1} A_{w2} (N_2 - N_1)}{A_{w2} - A_{w1}} \quad \dots \dots \dots (23)$$

Aquí Aw_1 y Aw_2 son obtenidos de la ecuación (7) haciendo $T = T_1$ y $T = T_2$ respectivamente. N_1 y N_2 son los correspondientes contenidos de agua. Una vez obtenido el valor de E , el peso molecular promedio M_s , puede ser obtenido de $E = 18 / M_s$ por despeje:

$$M_s = 18 / E \dots\dots\dots (24)$$

2.6. PROPIEDADES TERMICAS DE LOS ALIMENTOS A BAJAS TEMPERATURAS :

2.6.1. CALOR ESPECIFICO APARENTE

Es conocido que el calor específico es dependiente de la composición química y la temperatura, (STAPH Y WOLRICH ,1951, citado por CHEN, 1985). Según ALVA (1990) el agua a causa de que tiene un calor específico y calor latente de fusión alto, ejerce mayor influencia sobre esta propiedad y en alimentos no congelados, el calor específico se hace ligeramente más bajo cuando la temperatura se eleva de 0 a 20 ° C.

Durante la congelación, el calor específico de los alimentos, se hace muy dependiente de la temperatura, puesto que ésta controla la contribución del calor latente de fusión. La fracción de hielo es importante puesto que el calor específico del hielo es 0.49 (a 0° C) comparado con 1.0 del agua. ROLFE (1968)

Muchos de los valores de calor específico de alimentos reportados en la literatura, han sido calculados mediante el uso de fórmulas sencillas que relacionan el calor específico con el contenido de agua y materia sólida. SIEBEL (1918), citado por ALVA (1990), utilizó para el cálculo de calor específico, por debajo del punto de congelación, la siguiente ecuación:

$$C_e = 0.003 a + 0.20 \dots\dots\dots (25)$$

Donde C_e , es el calor específico; a el porcentaje de contenido de agua y 0.20, es una base arbitraria asumido para representar el calor específico de los constituyentes sólidos.

Los valores de calor específico, derivado de la ecuación (25) ocasiona error, ya que es asumido que toda el agua se convierte en hielo. Esta suposición no es enteramente

correcta en vista de que la congelación puede ser incompleta, la muestra, puede no tener hielo solamente, sino una mixtura de constituyentes congelados y no congelados. (ASHRAE 1977, citado por ALVA, 1990). Un término usualmente aplicado y que incluye tanto el calor latente de fusión como el calor sensible, es el calor específico aparente, C_{pa} expresado como:

$$C_{pa} = \frac{\partial H}{\partial T} \dots\dots\dots (26)$$

SCHWARTZBERG (1981) , en la derivación de la capacidad calorífica efectiva, asumió que las entalpías de los componentes alimenticios son aditivos, en consecuencia la entalpía por unidad de masa durante la congelación es :

$$H = H_s n_s + H_w n_w + H_h n_h \dots\dots\dots (27)$$

Donde H_h , H_w y H_s son las entalpías por unidad de masa de hielo, agua y sólidos respectivamente n_h , n_w y n_s las fracciones de hielo, agua no congelada y sólidos respectivamente. Diferenciando la ecuación (27) con respecto a T y a través de relaciones matemáticas basadas en ciertas consideraciones, se obtuvo muchas expresiones alternativas para c_{pa} . Una de las ecuaciones propuestas por SCHWARTZBERG (1981) que ha mostrado una buena concordancia entre los valores precedidos y experimentales, es como sigue:

$$C_{pa} = C_f + (n_{w_0} - b n_s) \Delta H_o \frac{(T_o - T_i)}{(T_o - T)^2} \dots\dots\dots (28)$$

Donde C_f es la capacidad calorífica de la muestra totalmente congelada y puede ser calculada de la ecuación. :

$$C_f = C_s n_s + C_h (n_{w_0} - b n_s) + b C_w n_s \dots\dots\dots (29)$$

Donde $C_s n_s$ es el calor específico de los sólidos totales expresado en kcal/kg de alimento $^{\circ}C$; este término puede ser obtenido, si los calores específicos y las fracciones de masa de cada uno de los componentes de la fracción sólida del alimento conocidos:

| <u>Componentes</u> | <u>Calor específico (kcal / kg °C)</u> |
|---------------------|---|
| Proteína | 0.36 |
| Grasa | 0.42 |
| Cenizas | 0.42 |
| Carbohidratos | 0.34 |

Estos valores son ligeramente más altos a los utilizados por HELDMAN (1982) para calcular el calor específico de las fracciones no congeladas del producto. CHEN (1985) partiendo de una ecuación modificada de SIEBEL, (ASHRAE, 1981, citado por CHEN, 1985) para C_f y usando la ecuación de velocidad de formación de hielo (ecuación, 19), obtuvo la siguiente relación para C_{pa} :

$$C_{pa} = 0,37 + 0,3n_s + \frac{n_s R T_o^2}{M_{st_2}} \dots\dots\dots (30)$$

La ecuación (30) está limitada para alimentos con humedad mayor de 40%. Su validez fue demostrado por CHEN (1985) trabajando con carne de res, pescado y jugo de frutas con diferentes grados de humedad.

2.6.2. ENTALPIA

La entalpía o contenido calórico de un alimento congelado, es la combinación de calor sensible y calor latente, la contribución del calor sensible a la entalpía está relacionada con los cambios de temperatura, mientras que la contribución del calor latente está directamente relacionada con la magnitud de la fracción de agua congelada en el producto. La entalpía total (H_t) según HELDMAN (1982), puede ser expresado como la suma de las entalpías de cada uno de los componentes del producto.

$$H_t = H_s + H_w + H_l + H_h \dots\dots\dots (31)$$

Donde se incluye el calor sensible de los sólidos del producto (H_s), la entalpía del agua no congelada (H_w), la entalpía de solidificación (H_l) y la entalpía del agua congelada (H_h). Todas las contribuciones a la entalpía total, son funciones de la temperatura y de la fracción de agua congelada a una temperatura dada. Cuando se

tabula la entalpía como una función de la temperatura, una temperatura base debe ser considerada. Esta es la temperatura al cual la entalpía es arbitrariamente designada como cero. Esto no implica que el contenido del calor del alimento a la temperatura base es cero. En lugar de ello significa que este, es un punto de referencia en el cual permite el uso de diferencias de entalpía. Normalmente la entalpía de referencia es: HELDMAN (1982)

$$(H_r = 0) \dots\dots\dots (32)$$

Fórmulas de Predicción

Una forma integrada para el cálculo de la entalpía total a partir de los contenidos calóricos del producto ha sido propuesto por HELDMAN (1982), la ecuación es :

$$H_T = n_s C_s \int_{-40}^{T_p} dT + n_w C_w \int_{T_1}^{T_p} dT + \int_{-40}^{T_1} n_w(T) C_w(T) dT + n_w(T) L + \int_{-40}^{T_1} n_h(T) C_h(T) dT \dots (33)$$

Donde C_s es el calor específico de la fracción sólida del alimento, C_w calor específico del agua , $C_w(t)$ calor específico del agua no congelada a temperatura de congelación (t), L , calor latente de fusión del agua , $C_h(t)$ calor específico de agua congelada que puede no ser dependiente de la temperatura si el calor específico del hielo es constante en el rango de temperatura inicial del producto , T_i temperatura inicial de congelación del producto , n_s , n_w y n_h son las fracciones de masa de sólidos, agua y hielo respectivamente.

La mayoría de los productos contienen tantos componentes que inducen la depresión del punto de congelación que es casi imposible evaluar , cual de los componentes es el causante de la mayor contribución en la carga total. La falta de información sobre el peso molecular efectivo utilizado para calcular las fracciones congelada y no congelada que existe a varias temperaturas por debajo del punto inicial de congelación, hace al procedimiento muy inflexible y a no ser que la información sobre el calor específico aparente del producto durante la congelación sea conocido, la predicción del cambio de entalpía y los requerimientos de frio se convierte en algo muy dificultoso. HELDMAN (1982).

El cálculo de la entalpía a través de la integración de una capacidad calorífica efectiva o calor específico aparente derivado a partir de una forma modificada de la ecuación del descenso del punto de congelación han sido propuestos por SCHWARTZBERG (1981) y CHEN (1985).

Multiplicando la ecuación (28) por dT e integrando entre una temperatura de referencia (T_r) conocida y temperaturas en el rango de congelación, SCHWARTZBERG (1981), obtuvo la siguiente ecuación:

$$H = (T - T_r) \left(C_f + (n_{w_0} - bn_s) \right) \left[\frac{\Delta H_o (T_o - T_i)}{(T_o - T_r)(T_o - T)} \right] \dots\dots\dots (34)$$

Donde H es la entalpía de congelación (Kcal/Kg) y C_f el calor específico del material completamente congelado, el cual puede ser obtenido de la ecuación (29). Cuando $T_r = T_i$ se obtuvo :

$$H = (T - T_i) \left[C_f + (n_{w_0} - bn_s) \right] \frac{\Delta H_o}{(T_o - T)} \dots\dots\dots (35)$$

La ecuación (35) fue evaluada por SCHWARTZBERG (1981) y se ajusta muy bien a los datos experimentales y calculados de pulpa de Lúcumá, reportado por GONZALES (1991).

Sustituyendo la ecuación (30) por C_{pa} e integrando la ecuación (26) entre una temperatura de referencia, t_r y t , la siguiente ecuación para la entalpía fue obtenido por CHEN (1985) para temperaturas por debajo del punto de congelación:

$$H = (t - t_r) \left(0,37 + 0,3n_s + \frac{n_s}{M_s} \frac{RT_o^2}{tt_r} \right) \dots\dots\dots (36)$$

Para $t_r = t_i$, la ecuación (36) pasa a ser:

$$H = (t - t_i) (0,37 + 0,3n_s) + \frac{n_s}{M_s} \frac{RT_0^2}{tt_i} \dots\dots\dots (37)$$

Donde $t = (T - T_0) = (T - 237.15)^\circ\text{K}$ y es numéricamente igual a la temperatura de congelación ($^\circ\text{K}$) en $^\circ\text{C}$, T la temperatura de congelación ($^\circ\text{K}$), $t_i = (T_i - T_0) = (T_i - 273.15)^\circ\text{K}$ y es numéricamente igual a la temperatura inicial de congelación expresado en $^\circ\text{C}$, T_i la temperatura inicial de congelación ($^\circ\text{K}$).

2.6.3 INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL Y MÉTODOS DE MEDICIÓN.

Muchos métodos desarrollados y algunos de potencial aplicación han sido sugeridos y aplicados en la medición experimental de las propiedades térmicas de los alimentos, la determinación del mejor método e instrumento, requiere de algún conocimiento del rango de valores esperados, propiedades, técnicas deseadas, exactitud requerida y la cantidad de tiempo utilizable para recoger los datos, generalmente los aparatos de cualidad térmica de los alimentos deberían comenzar con planes de construcción; evaluación y verificación de uno o más instrumentos. DICKERSON (1968).

Los métodos de régimen permanente, son usualmente no complicados pero tediosos y demandan tiempo en su aplicación. Los métodos transientes, pueden ser ejecutados en el escaso tiempo de 10 segundos. DICKERSON (1968).

Los calorímetros que usan métodos de mezcla y sus modificaciones son los más utilizados para la determinación de calor específico y entalpía por ser de construcción más simple. La técnica consiste en la adición de una cantidad conocida de agua, a una temperatura dada del material cuyo calor específico o entalpía se quiere determinar. Probablemente las más extensivas investigaciones de cambio de entalpía durante la congelación de productos alimenticios, han sido conducidas y reportadas por (ROLFE 1968, citado por HELDMAN 1982).



2.7. DIAGRAMAS DE CONGELACION DE ALIMENTOS

2.7.1 DIAGRAMA DE CONGELAMIENTO DEL AGUA Y SOLUCIONES SIMPLES.

El diagrama de temperatura de un producto versus el calor eliminado o tiempo de congelamiento puede proveer una información útil acerca del proceso de congelamiento. FENNEMA Y POWRIE (1964).

La Figura 1 presenta la curva de enfriamiento para agua pura y una curva típica de congelamiento para agua conteniendo un soluto. La forma característica de la curva de congelamiento proviene de las siguientes propiedades físicas:

| | |
|---|-----------------------|
| Calor específico del agua | = 1.0 Kcal/Kg°C |
| Calor específico del hielo a 0° C | = 0.49 Kcal/Kg°C |
| Calor latente de fusión (calor de cristalización) | = 79.7 caloría/ gramo |

El agua en el rango de 212°F-32° F, requiere la remoción de 1 Btu/libra por cada grado de reducción de la T° (50°F hasta el punto A). El punto A y el punto D, representan un supercongelamiento, el cual siempre ocurre en algún grado previo a la nucleación, el crecimiento de los cristales de hielo es rápido. Como consecuencia de este calor la temperatura sube rápidamente el punto de congelamiento del agua pura hasta que todo el agua haya sido solidificado (B a C) , figura (1).

Una vez que el agua es congelada; además de la remoción calorífica, resulta un decrecimiento en la temperatura a una proporción aproximada de 1° F por cada 0.49 BTU, removido de cada libra de hielo.

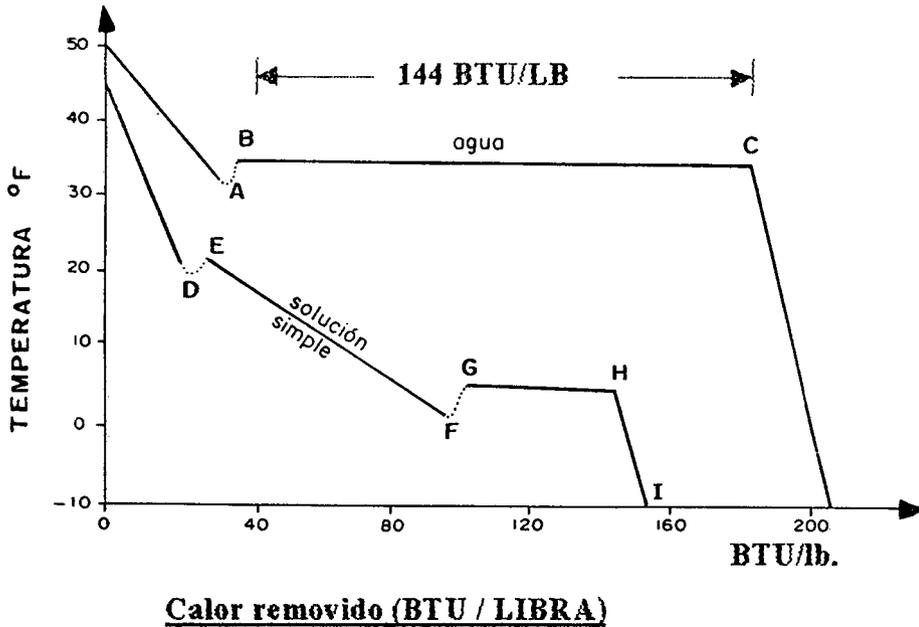


Figura 1 : Curvas de congelamiento para agua pura y contenido de soluto

Fuente: FENNEMA Y POWRIE (1964)

En el congelamiento de una solución simple, la secuencia de nucleación, crecimiento de cristales de hielo y liberación de calor de cristalización también causa la elevación de la temperatura al verdadero punto de congelamiento, E. El congelamiento adicional, resulta en un decrecimiento gradual en la temperatura como se muestra en la sección EF. Durante este período, el agua es gradualmente transformado en cristales de hielo, dando origen a una solución que se hace progresivamente más concentrada. Finalmente hay una ligera supersaturación y el calor de la cristalización causa una elevación de la temperatura al punto G, conocida como la temperatura criogénica a la cual la máxima cristalización del agua y solutos puede ocurrir en su sistema acuoso. Además, la remoción del calor a través de la sección GH, resulta en un cambio de estado sin cambio en la temperatura. En el punto H, la cristalización del agua y el soluto es completa. FENNEMA Y POWRIE (1964)

La mayor diferencia entre las dos curvas de congelamiento, es que el agua pura, experimenta una completa cristalización a una temperatura constante, mientras que una solución simple (un soluto) comienza a congelarse a una temperatura más baja que el agua pura y durante la solidificación, ésta experimenta la concentración de solutos y un gradual decrecimiento en la temperatura. FENNEMA Y POWRIE (1964).

2.7.2 DIAGRAMAS DE CONGELACION DE MATERIALES ALIMENTICIOS.

Cuando se mide la variación de la temperatura de un alimento durante la congelación, se obtienen curvas bastante regulares, las curvas de congelación varían de acuerdo con los siguientes factores: métodos de congelación, tamaño, forma, composición química, propiedades físicas del producto y tipo de empaque (o ausencia de este). GRUDA Y POSTOLSKI (1986).

En la Figura 2, son mostradas esquemáticamente curvas de congelación típica de alimentos a diferentes velocidades de congelación. El enfriamiento de A a S envuelve sólo la extracción de calor sensible. El sobreenfriamiento S, es posible que ocurra en todos los materiales biológicos. FENEMA Y POWRIE (1964). Pequeñas muestras son más propensas a sobreenfriarse que las muestras grandes. La composición del material, también influencia la extensión del sobreenfriamiento. Coloides y glicoles (especialmente glicerol) son particularmente efectivos promotores de sobreenfriamiento. FENEMA Y POWRIE (1964).

A velocidades de congelación muy lenta (curva 1), Figura 2; el sobreenfriamiento (S) es completamente evidente y cuando la velocidad de remoción de calor es incrementado, las diversas etapas de congelación se convierten en menos evidente; hasta que finalmente a velocidades muy altas a menudo se convierten en indistinguibles (curva 3), Figura 2.

Acompañando al inicio de cristalización en el punto S, el calor de cristalización liberado hace que la temperatura se eleve prontamente al punto de congelamiento inicial B de la muestra (si el sobreenfriamiento es limitado y el enfriamiento moderadamente lento). FENEMA Y POWRIE (1964)

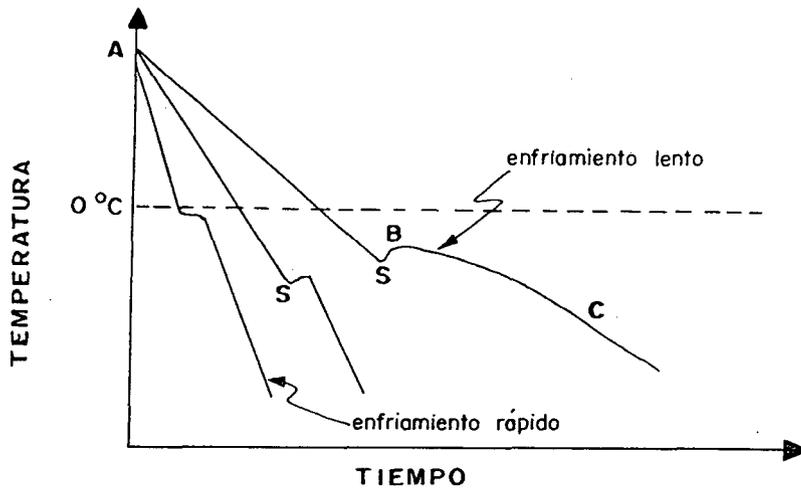


Figura 2: Curvas de congelación típica de alimentos a diferentes velocidades de congelación.

Fuente : CHEFTEL Y CHEFTEL (1976)

Mientras que los productos alimenticios manufacturados frecuentemente difieren mucho en sus puntos iniciales de congelación, los alimentos naturales generalmente congelan, dentro de un estrecho rango de temperaturas. FENNEMA Y POWRIE (1964).

El punto de congelación de productos alimenticios está entre -0.5°C y -5°C , pero para la mayoría de alimentos está por encima de -2°C .

La sección BC. representa el período durante el cual, el calor latente de cristalización está siendo removido y el cambio de estado está ocurriendo durante las etapas iniciales de la sección BC. El agua se separa en forma de hielo puro produciéndose solo un incremento moderado de la concentración de solutos en la fase no congelada (ligero descenso del punto de congelación) . En el punto C, la cristalización es casi completa evidenciada por la rápida caída de la temperatura. FENNEMA Y POWRIE (1964).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

El presente trabajo se ejecutó en los Laboratorios de Análisis y Composición de Alimentos, Laboratorio de Ingeniería y Diseño y en el Laboratorio de Análisis de Productos Agroindustriales No Alimentos de la Facultad de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto ubicadas en el Complejo Universitario.

3.2. MATERIA PRIMA

Las materias primas utilizadas, fueron adquiridas en el mercado de la localidad de Tarapoto; éstos se cultivan en toda la región San Martín. Para tomar las muestras de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught) y la Pomarosa (*Syzygium jambos* Alston), se tuvieron en cuenta, el estado fitosanitario y el estado de madurez entre otros aspectos de tipo visual.

3.3. EQUIPOS Y MATERIALES :

3.3.1 EQUIPOS :

- Balanza analítica Sauter, tipo 414 aproximación 0.1 mg. Alemana.
- Balanza de precisión Sauter, tipo S 1000 T/0.1 aproximación 0.1 g, -
- Congeladora Phillips, modelo CCA-200 temperatura mínima -15°C.
- Equipo digestor de proteínas.
- Equipo extractor de grasa tipo soxhlet
- Estufa Memmert, modelo TV-25V, rango de temperatura a 30°C a 200°C, Alemania
- Termo Comercial de 2 ½ y 3 litros de capacidad



- Mufla térmica Temco, modelo 16303, rango de temperatura 0°C a 120°C, Iowa- USA
- Refrigeradora Philco, modelo RP-14-
- Termómetro de vidrio de -10°C a 220°C-USA.
- Termopares cobre constantan N°24 acoplables.
- Refractómetro de mano.
- Thermos de 1/2 litro y 6 litros respectivamente
- Equipos de Micro Kjeldahl
- Equipo Soxhlet
- Bomba de vacío
- Agitador con 02 aspas de 1,500 rpm.

3.3.2 REACTIVOS:

- Eter de petróleo.
- Acido Sulfúrico.
- Hidróxido de sodio.
- Cloruro de sodio.

3.3.3. MATERIALES:

- Material de vidrio:
Buretas, crisoles, Erlenmeyer, matraces, pipetas, placas petri y probetas
- Otros:
cuchillos, hielo en cubos, cronómetro, ollas, etc.

3.4. MÉTODOS:

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO

Las características organolépticas de la materia prima fueron determinadas mediante el color (amarillo intenso) en caso del arazá y rojo intenso (rojo oscuro) para la pomarrosa; el olor es característico de cada fruta al estar madura ya que en estado verde carece de olor, la textura es dura el estar verde y blanda al estar totalmente madura.

| PRODUCTO | CARACTERISTICAS | | |
|-----------|------------------|------------------------------|---------|
| | COLOR | OLOR | TEXTURA |
| POMARROSA | ROJO INTENSO | CARACTERISTICO, AROMATICO | FIRME |
| ARAZA | AMARILLO INTENSO | CARACTERISTICO, AROMATICO | SUAVE |

3.4.2. ANÁLISIS FÍSICO.

Las frutas del arazá y pomarrosa, fueron seleccionadas y pesadas, tanto el rendimiento de pulpa , semilla y cáscara fueron calculados en porcentaje en relación al peso total.

3.4.3. ANÁLISIS QUÍMICO.

El análisis proximal de la pulpa (parte comestible) de las frutas, fueron realizados según la metodología descrita por la A.O.A.C. (1970) se efectuaron por duplicado los sgtes. análisis:

- a) Humedad.- Método del secado en estufa a 110°C por cuatro horas.
- b) Proteína Total.- Método semi-micro Kjeldahl utilizando el factor 6.25.
- c) Grasa.- Método Soxhlet usando hexano como solvente.
- d) Ceniza.- Método de calcinación en mufla a 600°C por dos horas.
- e) Carbohidratos.- Mediante la diferencia (100-humedad-proteína total-grasa cruda-ceniza) %.

3.4.4. PREPARACIÓN DE MUESTRAS:

Para la preparación de las muestras, se procedió según el diagrama de flujo mostrado en la Figura 3.

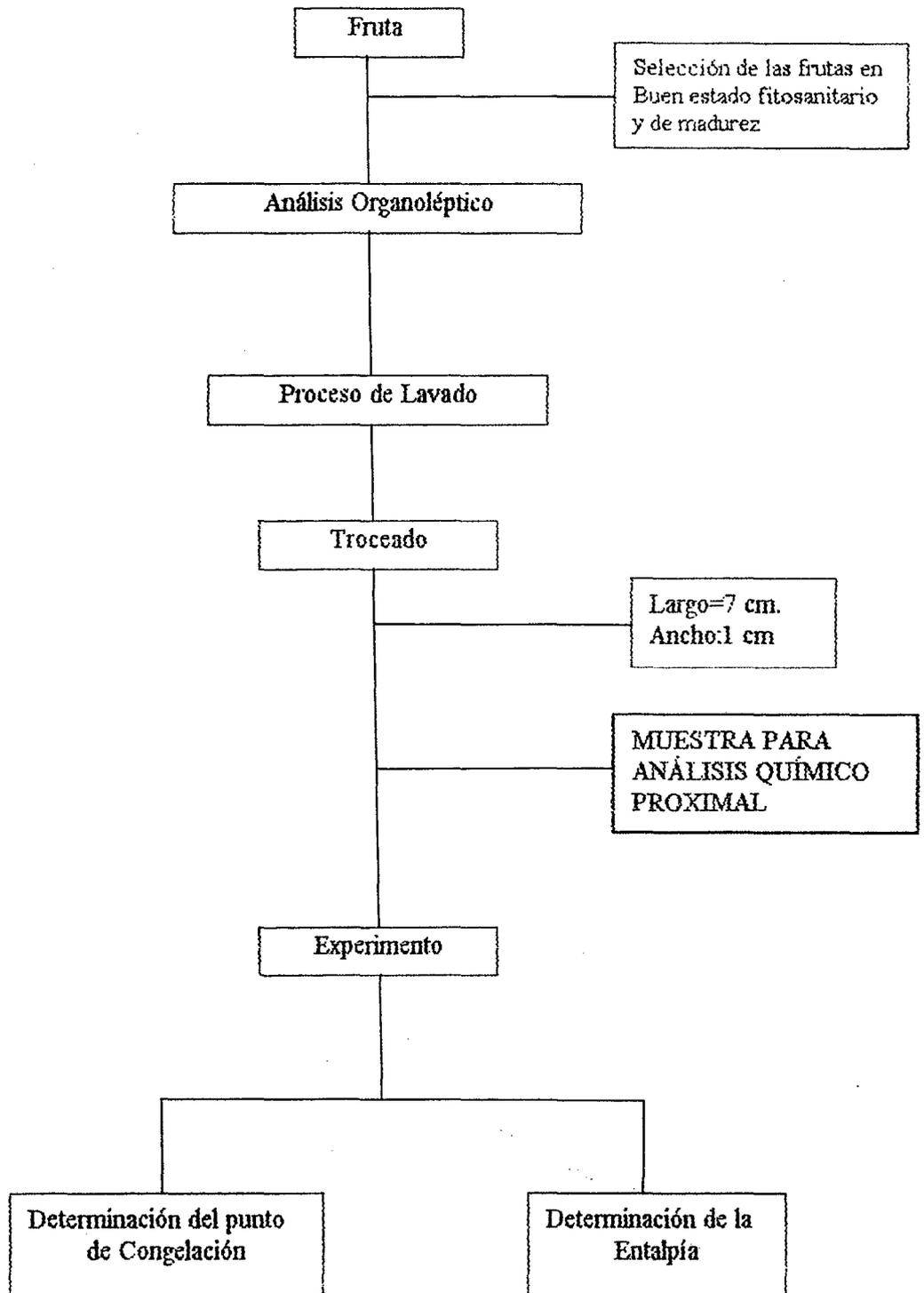


Figura 3: Flujograma de preparación de la materia prima y determinación de propiedades Termofísicas.

Las frutas fueron seleccionadas de acuerdo a su madurez óptima, luego se lavó con abundante agua a fin de eliminar cualquier suciedad superficial; una vez comprobado la frescura de las frutas, Arazá (Eugenia stipitata Mc Vaugh) y Pomarrosa (Syzigium jambos Alston), fueron seccionados en dos mitades luego eliminados, semillas y cáscaras y cortados en trozos de aproximadamente 6-7 cm. de longitud y de 1 cm de ancho aproximadamente con el objeto de contar con muestras homogéneas.

3.4.5. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL PUNTO INICIAL DE CONGELACIÓN.

FENNEMA et al. (1973), citado por ALVA (1990); ha considerado que la forma mas simple para la determinación del punto inicial de congelación consiste en colocar una muestra, en un equipo indicador de temperatura (termocupla) y mantener un registro de tiempo y temperatura cuando la muestra es enfriada, sobreenfriada y parcialmente congelada. El punto inicial de congelación, es derivado de la muestra de temperaturas relativamente extensa que sigue al sobreenfriamiento cuando es trazado el gráfico temperatura versus tiempo.

La forma de preparación de la materia prima (pomarrosa y arazá) fue de la siguiente manera :

Las muestras fueron deshidratadas en el determinador de humedad y luego fueron inmediatamente vueltas a congelar dentro del termo comercial.

Para la determinación precisa del punto inicial de congelación, fue usado un termopar acoplado a un registrador de temperatura de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ de aproximación. Una muestra de aproximadamente 5 a 6 gr. de cada una de las frutas: Arazá (Eugenia stipitata Mc. Vaugh) y Pomarrosa (Syzigium jambos Alston) conteniendo un termopar en su centro fue colocada en un termo comercial. (ver Figura 4), conteniendo aproximadamente 2000 ml. de salmuera saturada a -18°C . La temperatura fue registrada cada 10 segundos hasta sobrepasar el punto inicial de congelación. Previamente se determinó la humedad de la muestra, ésta fue descongelada y congelada por 3 veces para verificar la veracidad y confiabilidad de la prueba.

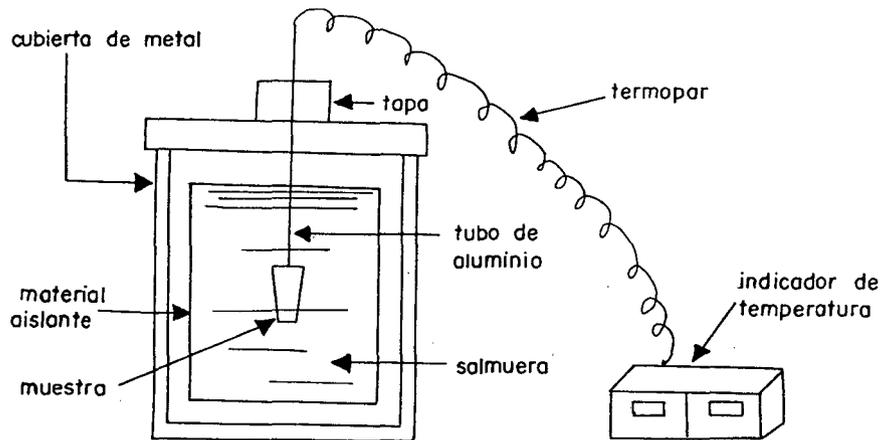


Figura 4: Termo comercial; utilizado en la determinación del punto de congelación del Arazá (*Eugenia stipitata* Mc.Vaught) y Pomarrosa (*Syzigium jambos*. Alston)

3.4.6 DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA ENTALPÍA DE CONGELACIÓN

Para la determinación experimental de la entalpía de congelación fue usado un método de mezcla, descrito por KLEEGERG (1986), citado por CORONADO (1992). Para tal efecto, un termo comercial fue adaptado para realizar los ensayos. Antes de cada prueba el termo fue cuidadosamente lavado, secado y pesado, agregándose entonces agua (aproximadamente 100 ml), del cual se registraba la temperatura y luego se pesaba nuevamente para confirmar la masa de agua. Seguidamente una muestra, conteniendo un termopar en su centro geométrico, conectada a un indicador de temperatura, es colocada en el interior del termo (Ver Figura 5), luego la muestra (6 gr. de fruta) se procedía a sumergir en agua (en ese momento se registraba la temperatura de la muestra) sobre una constante agitación del termo (ver Figura 5) hasta alcanzar la temperatura de equilibrio que también fue anotada. El conjunto es nuevamente pesado y la diferencia con el peso del termo y agua juntos corresponderá a la masa de las frutas en estudio, arazá (*Eugenia stipitata* McVaught) y Pomarrosa (*Syzigium jambos* Alston).

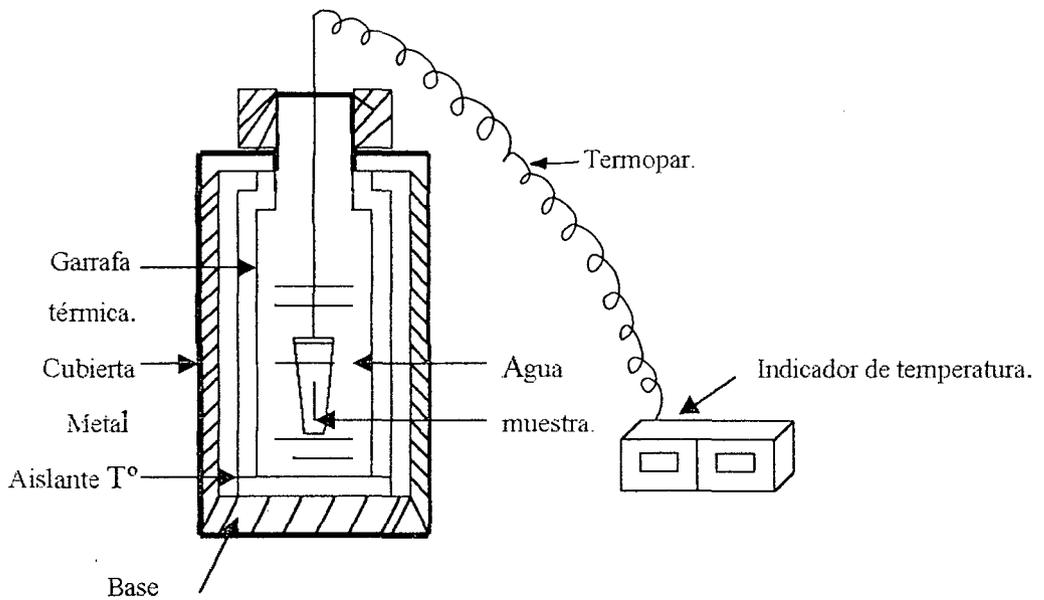


Fig. 5: Termo utilizado en la determinación de entalpía tanto de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught) como de Pomarrosa (*Syzigium jambos* Alston).

A partir de los datos experimentales de masa y temperaturas y el correspondiente balance térmico del sistema, los valores de entalpía fueron calculados, ALVA (1990). Los valores experimentales fueron comparados con los valores obtenidos mediante fórmulas de correlación de SCHWARTZBERG (1976) y CHEN (1985).

Eligiendo la temperatura de inicio de congelación (T_i) como la temperatura referencial donde la entalpía fue asumida cero ($H_{Ti} = 0$) el siguiente balance calórico fue obtenido para el cálculo de la entalpía.

$$H_m (H_{Ti} - H_T) + W_m C_m (T_e - T_i) = W_w C_w (T_{wo} - T_e) + q_c \dots\dots\dots (38)$$

Despejando H_T de la ecuación se obtuvo:

$$H_T = - \frac{[W_w C_w (T_{wo} - T_e) - W_m C_m (T_e - T_i) + q_c]}{W_m} \dots\dots\dots (39)$$

Donde H_T es la entalpía de congelación (Kcal / Kg), W_w el peso del agua (Kg), C_w el calor específico del agua (Kcal / Kg° C) W_m el peso de la muestra; tanto del Arazá

como de la Pomarrosa respectivamente (Kcal/Kg°C), T_w la temperatura de equilibrio de la mezcla agua -Arazá (°C) ó agua - Pomarrosa (°C) y q_c el calor asociado con la capacidad térmica del calorímetro entre las temperaturas inicial y final (Kcal). El calor asociado de la muestra (C_m) por encima del punto de congelación fue calculado de la siguiente ecuación:

$$C_m = C_s N_s + C_w N_w \dots\dots\dots (40)$$

Donde C_s , es el calor específico de los sólidos totales (Kcal/Kg °C). este parámetro fué obtenido a partir de los calores específicos y fracciones de masa de los componentes de la fracción sólida de la muestra.

3.4.7. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL PUNTO DE CONGELACIÓN.

a. Fracción de masa de agua ligada "b".

Fue calculada mediante la ecuación (23) SCHWARTZBERG (1976) los valores de actividad de agua requeridos para la aplicación de la ecuación (23) fueron determinados, reemplazando en la ecuación (3) del descenso crioscópico, las temperaturas iniciales de congelación obtenidos experimentalmente.

b. Relación de pesos moleculares "E".

Fue obtenido apartir del punto inicial de congelación de las muestras y la aplicación de la ecuación (22). SCHWARTZBERG (1976).

c. Determinación del peso molecular efectivo "M_s".

El peso molecular efectivo "M_s" fue calculado, mediante la ecuación (24) de SCHWARTZBERG (1981) y también con la ecuación (15) de CHEN (1985) a partir de valores experimentales de entalpía dentro del rango de 10 °C por debajo del punto inicial de congelación de las muestras.

d. Contenido de hielo.

El contenido de hielo formado a diferentes temperaturas de congelación expresado como Kg./Kg. de alimento, fue estimado mediante dos ecuaciones la

ecuación (13) de SCHWARTZBERG (1976) y la ecuación (14) de CHEN (1985).

El contenido de hielo expresado como un porcentaje del contenido inicial de agua, fue calculado, mediante la ecuación (16).

e. Velocidad de formación de hielo con la temperatura

Fue estimado, usando la ecuación (19) de SCHWARTZBERG (1981) y la ecuación (21) de CHEN (1985).

f. Calor específico aparente

Fue calculado usando la ecuación (28) de SCHWARTZBERG (1981) y la ecuación (30) de CHEN (1985). Para la aplicación de la ecuación (28) el calor específico de la muestra totalmente congelada, C_f fue determinada por la ecuación (29).

3.4.8. EVALUACIÓN DE LA EXACTITUD

Según BIZOT (1983), citado por ALVA (1990), el error medio relativo se define como la raíz cuadrada del error promedio y fue calculado para expresar la exactitud o ajuste de los valores calculados con los obtenidos experimentalmente. La ecuación usada fue la siguiente:

$$\%R = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{V_{\text{exp}} - V_c}{V_{\text{exp}}} \right]^2} / n * 100 \dots\dots\dots (41)$$

Donde n , es el número de puntos experimentales, V_{exp} es el valor obtenido experimentalmente, V_c el valor calculado mediante la ecuación correspondiente.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO.

En el fruto del Arazá (Eugenia stipitata Mc Vaugh), se obtuvo las siguientes características:

- Fruto maduro de un color amarillo intenso.
- Olor característico de la fruta.
- Textura blanda típico de madurez completa.
- Apariencia general de la fruta era de lo mejor

En el fruto maduro de Pomarrosa (Syzigium jambos Alston) se observó las siguientes características:

- Fruto maduro, de color rojo intenso (rojo oscuro) .
- Olor característico y muy suave propia de la pomarrosa que está en buenas condiciones.
- Textura blanda al presionarla ligeramente.
- Apariencia general buena .

4.2 ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOMÉTRICAS

Los resultados de las características físico químicas y biométricas del fruto Arazá (Eugenia stipitata Mc Vaugh) son presentados en el Cuadro 5

El diámetro de la fruta promedio es de 8 a 12 cm., en estado óptimo de madurez, con un peso promedio de 180 gr. cm. Además el tamaño varía de acuerdo al tipo de terreno y abono recibido, condiciones ambientales, edad . El pH de 3 y acidez titulable alta expresado como ácido cítrico debido a sus características propias de la fruta.

Cuadro 5: Características Biométricas y Fisicoquímicas del fruto de Arazá (Eugenia stipitata Mc. Vaught).

| CARACTERISTICAS | PARÁMETROS. PROM. DE 4 FRUTOS DE ARAZA |
|------------------------|--|
| Diámetro | 10 cm. |
| Peso entero | 180,30 gr. |
| Peso pulpa | 139,38 gr. |
| Peso semilla + cáscara | 40,92 gr. |
| pH | 3,0 |
| ° Brix | 8 |
| Acidez Titulable | 1.53 % |

FUENTE: Elaboración Propia.

Con relación a los porcentajes de rendimiento para partes del Arazá, la parte utilizada (pulpa) en estudio alcanzó un valor de 77.30% esto está dentro de los porcentajes normales que reporta CALZADA (1980), ya que las semillas ocupan un 22.70% por fruto.

Los resultados de las características físico químicas y biométricas del fruto de Pomarrosa se presentan en el Cuadro 6.

El diámetro de cada fruto está entre 4 a 7 cm. con una altura máxima de 6 a 8 cm. en frutos bien desarrollados y esto también depende de las condiciones climáticas, edad de la planta y tiempo de cosecha; ° Brix de 10,5, esto debido a la presencia de una serie de azúcares presentes; pH de 4,3 y acidez titulable baja expresado como ácido cítrico debido a las características propias de la fruta.

Cuadro N° 6: Características Biométricas y Fisicoquímicas del fruto de Pomarrosa (*Syzigium jambos*)

| CARACTERISTICAS | PARÁMETROS. PROM. DE 4 FRUTAS DE POMARROSA |
|-------------------|--|
| Diámetro | 5,5 cm. |
| Peso entero | 75,90 gr. |
| Peso pulpa | 55,23 gr. |
| Peso semilla | 20,67 gr. |
| pH | 4.3 |
| ° Brix | 10,5 |
| Acidez Titulable. | 0,41 % |

FUENTE: Elaboración propia.

Con relación a los porcentajes de rendimiento para las partes de la pomarrosa la parte utilizada en estudio alcanzó un valor de 72.77% este valor está dentro de los porcentajes reportados por CALZADA (1980) , ya que la semilla ocupa un 27.23% en parte de cada fruto.

4.3. ANÁLISIS QUÍMICO

Los datos encontrados en la composición química proximal de los frutos de Arazá (*Eugenia stipitata* Mc Vaught) y Pomarrosa (*Syzigium jambos* Alston) son presentados en los Cuadros 7 y 8 que nos demuestra que son frutos con elevado contenido de humedad (86.80%) para Arazá y (85.40 %) para Pomarrosa y los obtenidos para ceniza (0.99%) para Arazá y (0.77%) para pomarrosa. Estos en cuanto al contenido de proteínas por ser frutas no aportan valores considerables a la dieta y generalmente están por debajo del 1% tanto para el arazá como para la pomarrosa. Estos valores fueron obtenidos del análisis de un promedio de 4 frutas .

Cuadro 7: Composición Química proximal promedio
del fruto de Arazá (%)

| | |
|---------------|-------|
| Proteínas | 0.59 |
| Grasa | 1.59 |
| Humedad | 86.84 |
| Cenizas | 0.99 |
| Carbohidratos | 9.89 |

Fuente: Laboratorio de Análisis y Composición de los Alimentos (ANACOMPA- UNSM-Tarapoto-1,999).

Cuadro 8: Composición química proximal promedio
del fruto de Pomarrosa (%)

| | |
|---------------|-------|
| Proteína | 0.98 |
| Grasa | 0.92 |
| Humedad | 85.40 |
| Ceniza | 0.77 |
| Carbohidratos | 11.93 |

Fuente: Laboratorio de Análisis y Composición de los Alimentos (ANACOMPA-UNSM-Tarapoto-1,999).

4.4 PUNTO INICIAL DE CONGELACIÓN Y PARAMETROS EMPÍRICOS

Las ecuaciones teóricas que se presentan en la revisión bibliográfica, además de ser útiles para un total entendimiento de los principios que rigen el proceso de congelación nos permite evaluar la precisión que tienen los resultados experimentales. Estas ecuaciones, sin embargo, para poder ser aplicadas necesitan del conocimiento de un cierto número de parámetros o datos de entrada que generalmente son estimados a partir de valores experimentales obtenidos del producto no congelado, HELDMAN (1982).

Los valores obtenidos para el fruto de Arazá y Pomarrosa fueron los siguientes:

| | <u>ARAZA</u> | <u>POMARROSA.</u> |
|-------------------------------|--------------|-------------------|
| Constante empírica ; E = | 0.05804 | = 0.07282 |
| Peso molecular efectivo; Ms = | 310 | = 247.185 |
| Constante empírica; b = | 0.29 | = 0.225 |

Para lograr un valor de **b** confiable se requiere de algún conocimiento del rango de valores esperados por lo que es factible tomar como valores de referencia productos como hortalizas y algunas frutas como lo demostró GONZÁLES (1991) en el caso de pulpa de lúcuma que alcanzó el valor de 0.325 .

El valor de **b** calculado para Arazá (Eugenia Stipitata Mc Vaught) y Pomarrosa (Syzigiam jambos Alston), representa la fracción de agua no congelable Kg/ Kg de materia seca el cual es cercano al valor reportado por MEDINA, SILVA, NEVES Y HUBINGER (1998) ; quienes determinaron para jugo de piña y otras frutas el rango de 0.20 a 0.31, sin embargo, también se puede comprobar usando el rango de valores de **b**, reportados por DUCKWORTH (1969), mencionado por GRUDA Y POSTOLSKI (1986), en el cálculo de puntos iniciales de congelación (ecuación 11) para frutos de Arazá (Eugenia stipitata Mc. Vaught) y Pomarrosa (Syzigiam jambos Alston); éstos mostraron un porcentaje menor de E.M.R. , esto puede entenderse debido a que no existe un criterio uniforme entre los investigadores, respecto al contenido de agua ligada, las considerables controversias se deben fundamentalmente a los instrumentos y métodos empleados para determinar los parámetros térmicos deseados.

De igual manera, el valor de **E** encontrado para el Arazá y la Pomarrosa presentará una tendencia parecida a los valores de **E** reportados por KLEEBERG (1986), citado por CORONADO (1992), dado que **E**, está en relación inversa al peso molecular (**Ms**). Este valor en las frutas es de menor cuantía debido al pequeño porcentaje de proteínas y grasas que presentan lo cual incrementa el peso molecular básicamente en los productos cárnicos .

En el Cuadro 9, se presenta, para fines de comparación y trazado de una curva teórica, los puntos iniciales de congelación calculados mediante la ecuación (11). El Error Medio Relativo (EMR) estimado para el fruto de Arazá es de 8.15% y para el fruto de

Pomarrosa es de 9.01% lo que nos indica una buena concordancia de los valores experimentales con los predcidos mediante la ecuación propuesta por SCHWARTZBERG (1981).

CUADRO N° 9 : Puntos de Congelación Experimental y Calculado del Arazá (*Eugenia stipitata* Mc. Vaught)

| Humedad $100n_{wo}$ % | Sólidos Totales n_s (Kg) | Punto de Congelación Ti (°C) | |
|-----------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| | | Experimental | Calculado. |
| 84 | 0,160 | - 1.2 | - 1.21 |
| 80 | 0.200 | - 1.65 | - 1.62 |
| 77.92 | 0.22 | - 1.88 | - 1.84 |
| 74.96 | 0,25 | - 2,20 | - 2.21 |
| ERROR (EMR) | | | 8.15 |

FUENTE:Elaboración propia.

CUADRO 10 : Puntos de Congelación Experimental y Calculado de la Pomarrosa (*Syzigiam jambos* Alston)

| $100n_{wo}$ % | Sólidos Totales n_s (Kg) | Punto de Congelación Ti (°C) | |
|------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------|
| | | Experimental | Calculado. |
| 83 | 0,170 | - 1.6 | - 1.61 |
| 80 | 0.199 | - 2.1 | - 1.99 |
| 78 | 0.220 | - 2.2 | - 2.12 |
| 76.12 | 0,238 | - 2,4 | - 2.52 |
| ERROR (EMR) | | | 9.01 |

FUENTE: Elaboración propia.

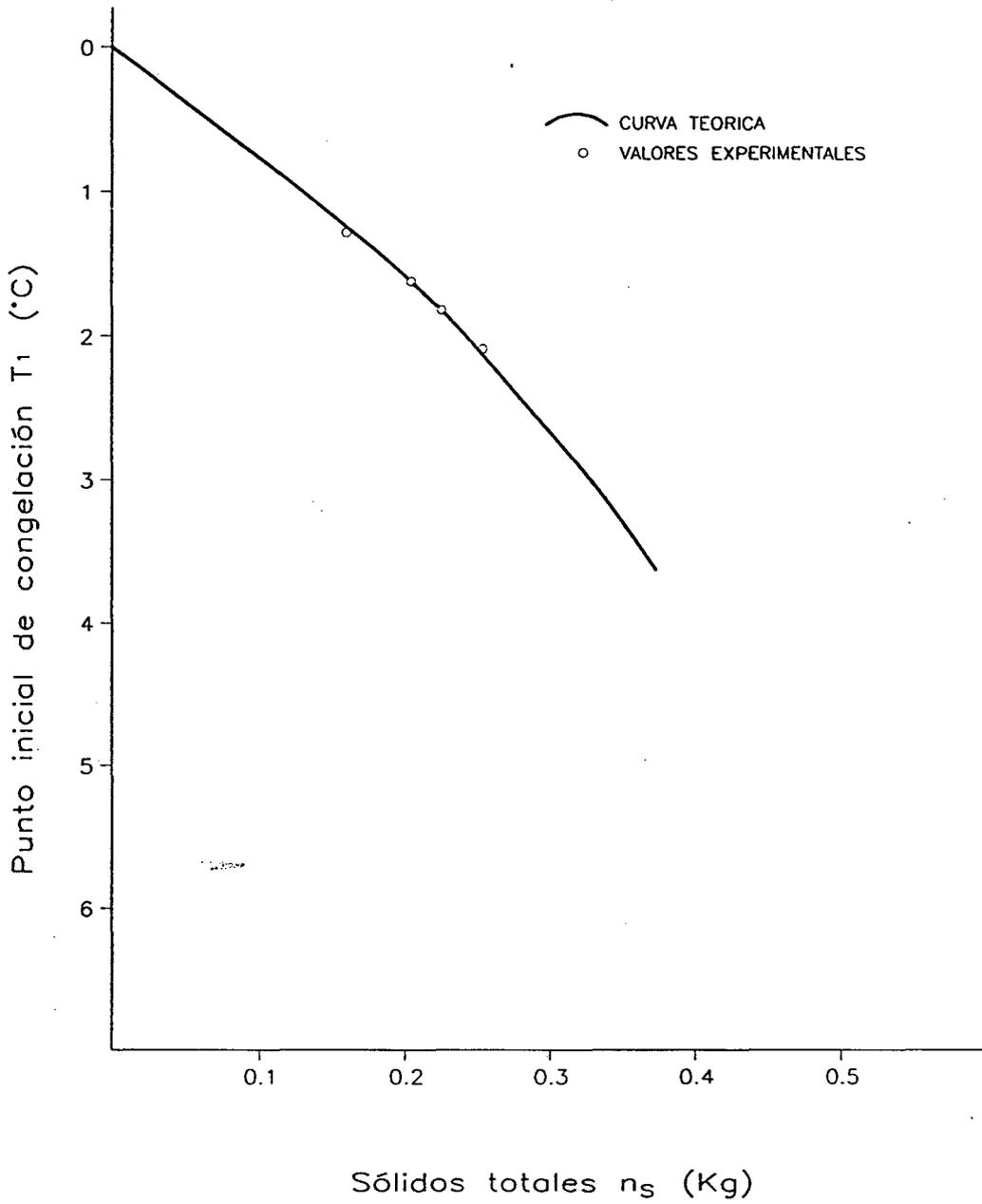


Fig. 6 Curva teórica del punto de congelación del fruto de Arazá en comparación con los resultados experimentales.

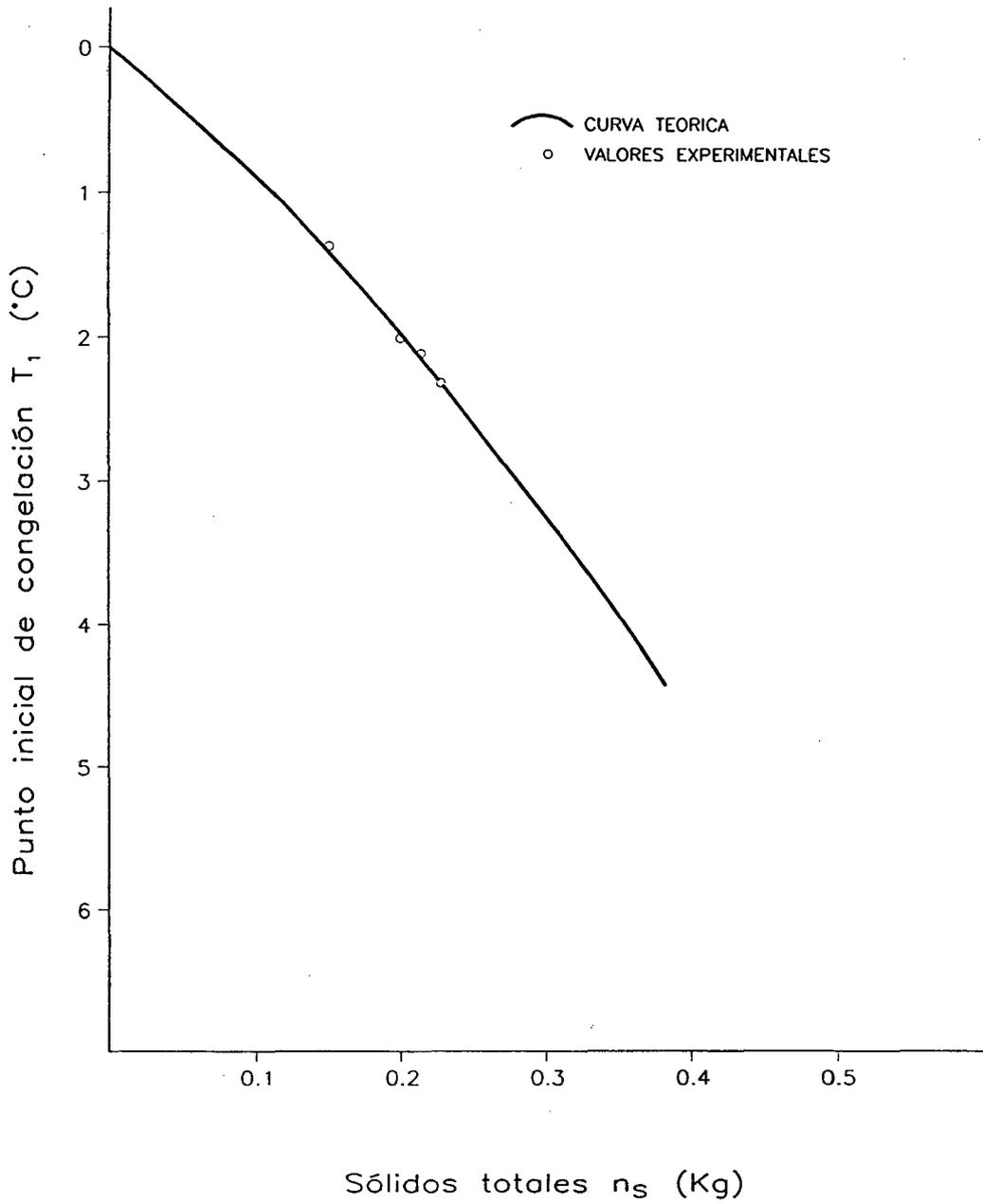


Fig. 7 Curva teórica del punto de congelación del fruto de Pomarrosa en comparación con los resultados experimentales.

4.5 CONTENIDO Y VELOCIDAD DE FORMACION DE HIELO CON LA TEMPERATURA.

El conocimiento de la cantidad de hielo en los alimentos es de mucha importancia ya que servirá para predecir los daños que puedan ocasionar los cristales en la estructura de los tejidos, mas aún si se trata de frutas, por el contenido alto de agua que tienen y la presencia de enzimas y otros componentes, como las vitaminas que se perderían , ocasionando pérdida nutritiva y comercial , debido a que se vuelve menos turgente. DUCKWORTH (1969) .

Los resultados calculados del contenido y velocidad de formación de hielo tanto en el fruto de Arazá como de Pomarosa se muestran en los Cuadros 11 y 12 respectivamente.

En los Cuadros en mención se reportan los resultados del contenido de hielo a diferentes temperaturas y su velocidad de formación para lo cual se utilizaron las ecuaciones (18) de SCHWARTZBERG y (19) de CHEN, los cuales no muestran diferencias significativas en los valores encontrados .

CUADRO 11: Contenido y velocidad de formación de hielo calculados en función de la Temperatura para el fruto de Arazá

| Temperatura (°C) | Contenido de Hielo n_h (kg/Kg) | | Velocidad de formación de hielo S (Kg/Kg °C) | |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|---|-------------------|
| | SCHWARTZBERG ^a | CHEN ^b | SCHWARTZBERG ^a | CHEN ^b |
| 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 |
| - 2,5 | 0.412 | 0.415 | 0.152 | 0.153 |
| - 5,0 | 0.603 | 0.607 | 0.0380 | 0.0383 |
| - 7.0 | 0.657 | 0.662 | 0.0194 | 0.0195 |
| - 10 | 0.698 | 0.703 | 0.0095 | 0.0095 |
| - 12 | 0.714 | 0.719 | 0.0066 | 0.0066 |
| - 15 | 0.730 | 0.735 | 0.0042 | 0.0042 |
| - 20 | 0.745 | 0.751 | 0.0023 | 0.0023 |
| - 30 | 0.761 | 0.767 | 0.0010 | 0.0010 |
| - 40 | 0.769 | 0.775 | 0.0005 | 0.0005 |

CUADRO 12: Contenido y velocidad de formación de hielo calculados en función de la Temperatura para el fruto de Pomarrosa.

| Temperatura (°C) | Contenido de Hielo m_h (kg/Kg) | | Velocidad de formación de hielo S (Kg / Kg °C) | |
|---------------------|--|-------------------|---|-------------------|
| | SCHWARTZBERG ^a | CHEN ^b | SCHWARTZBERG ^a | CHEN ^b |
| 0.0 | 0.000 | 0.000 | 0.0000 | 0.0000 |
| - 2,5 | 0.285 | 0.286 | 0.2026 | 0.2044 |
| - 5,0 | 0.538 | 0.541 | 0.0506 | 0.0511 |
| - 7,0 | 0.610 | 0.614 | 0.0258 | 0.0260 |
| - 10 | 0.665 | 0.669 | 0.0126 | 0.0127 |
| - 12 | 0.686 | 0.692 | 0.0088 | 0.0088 |
| - 15 | 0.707 | 0.711 | 0.0056 | 0.0056 |
| - 20 | 0.728 | 0.732 | 0.0031 | 0.0031 |
| - 30 | 0.749 | 0.754 | 0.0014 | 0.0014 |
| - 40 | 0.760 | 0.764 | 0.0008 | 0.0008 |

Si comparamos los valores obtenidos para los frutos de Arazá y Pomarrosa con respecto a los obtenidos para la pulpa de lúcumo existe mucha concordancia, pudiéndose observar que para las frutas Arazá y Pomarrosa y para los mismos niveles de temperatura es mayor el contenido de hielo fuera del rango de la zona crítica (0 a -5°C), esto se manifiesta debido a que las frutas en general en este rango presentan una mayor retención de agua libre en estado líquido por la presencia de azúcares los cuales se encuentran en solución en los tejidos. Esto es reforzado por los trabajos experimentales realizados por RIEDEL (1956), citado por ALVA (1990), quién afirma que en alimentos con mayores contenidos de humedad se forma mayor contenido de hielo, pero que también dentro de un rango crítico existía una menor cuantía debido a la presencia de azúcares.

Si comparamos el contenido de hielo calculado para los frutos de Pomarrosa y Arazá, para los mismos niveles de temperatura, se puede decir que el fruto de Arazá presenta mayor contenido que el fruto de Pomarrosa debido a que su punto inicial de congelación es mayor que la del fruto de Arazá.

Los contenidos en % de hielo y agua no congelada, se muestran en los Cuadros 13 y 14 con los cuales se trazaron las curvas de contenido de hielo tanto del fruto de Arazá como de Pomarrosa, mostrados en las Figuras 8 y 9 respectivamente.

En los Cuadros 13 y 14 se muestran los valores calculados de % de hielo y agua no congelada hasta niveles de temperatura de -40°C , para lo cual se utilizó las ecuaciones (13 y 14), para los modelos de SCHWARTZBERG (1981) y CHEN (1985), obteniendo valores cercanos al 10%, en concordancia con las curvas obtenidas donde la tendencia de la curva se vuelve constante entre el 90 al 92%, citado por muchos autores entre ellos GRUDA Y POSTOLSKI (1986)

CUADRO 13: Porcentaje de hielo y agua no congelada con respecto a la Temperatura para el fruto de Arazá.

| Temperatura ($^{\circ}\text{C}$) | Contenido de hielo (%) | | Contenido de agua no congelada | |
|---------------------------------------|------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| | SCHWARTZBERG | CHEN | SCHWARTZBERG | CHEN. |
| 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| - 2,5 | 49.12 | 49.46 | 50.88 | 50.54 |
| - 5 | 71.80 | 72.29 | 28.20 | 27.71 |
| - 7 | 78.28 | 78.82 | 21.72 | 21.18 |
| - 10 | 83.14 | 83.71 | 16.86 | 16.29 |
| - 12 | 85.02 | 85.61 | 14.98 | 14.38 |
| - 15 | 86.92 | 87.51 | 13.08 | 12.49 |
| - 20 | 88.80 | 89.41 | 11.20 | 10.59 |
| - 30 | 90.70 | 91.32 | 9.30 | 8.68 |
| - 40 | 91.64 | 92.27 | 8.36 | 7.73 |

FUENTE: Elaboración Propia

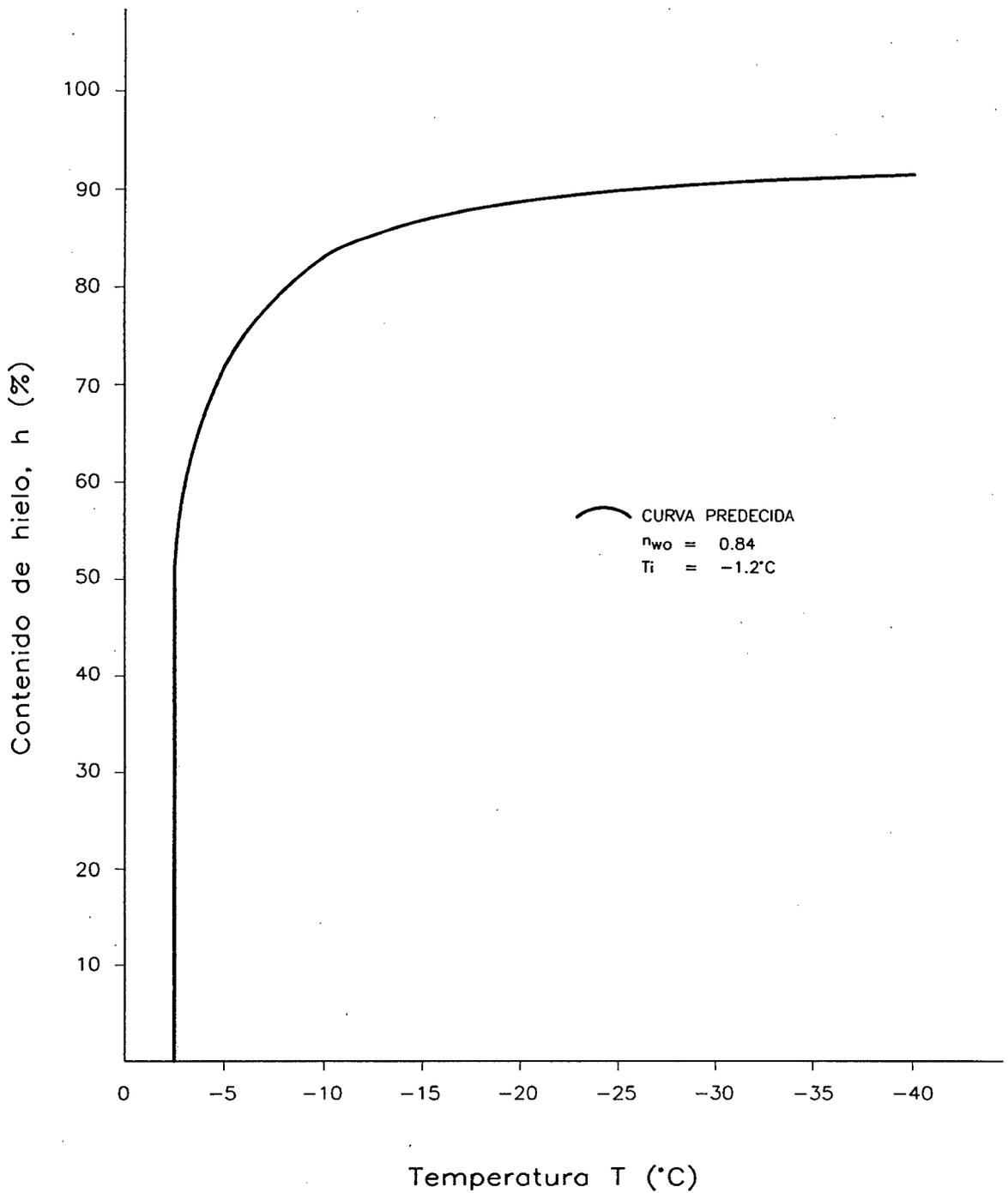


Fig. 8 Curva de contenido de hielo calculada en función de la temperatura para el Arazá.

CUADRO 14: Porcentaje de hielo y agua no congelada con respecto a la Temperatura para el fruto de Pomarrosa.

| Temperatura (°C) | Contenido de hielo (%) | | Contenido de agua no congelada | |
|---------------------|------------------------|-------|--------------------------------|-------|
| | SCHWARTZBERG | CHEN | SCHWARTZBERG | CHEN. |
| 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| -2,5 | 34.34 | 34.54 | 65.66 | 65.46 |
| - 5 | 64.86 | 65.25 | 35.14 | 34.75 |
| - 7 | 73.58 | 74.02 | 26.42 | 25.98 |
| - 10 | 80.12 | 80.60 | 19.88 | 19.40 |
| - 12 | 82.67 | 83.16 | 17.33 | 16.84 |
| - 15 | 85.21 | 85.72 | 14.79 | 14.28 |
| - 20 | 87.76 | 88.28 | 12.24 | 11.72 |
| - 30 | 90.30 | 90.84 | 9.70 | 9.16 |
| - 40 | 91.58 | 92.12 | 8.42 | 7.88 |

FUENTE: Elaboración Propia

4.6 ENTALPIA DE CONGELACION

Los valores experimentales de Entalpía de congelación encontrados para el fruto de Arazá y de Pomarrosa son mostrados en los Cuadros 15 y 16 . En los Cuadros 17 y 18 se presentan los valores experimentales y cálculos de entalpías por medio de las ecuaciones de SCHWARTZBERG (1981) y CHEN (1985) , mostrando una buena correlación de los resultados teóricos y prácticos.

CUADRO 15: Determinación Calorimétrica de la entalpía para el fruto de Arazá.

| Muestra | Agua | Agua + Muestra | Termo | Arazá | | |
|----------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| T° inicial T (°C) | Peso W _m (Kg) | Peso W _w (Kg) | T° inicial T _{wo} (°C) | T° equili. T _e (°C) | Calor ced. q _c (Kcal) | Ent. Exp. H _T (Kcal/Kg) |
| - 2,7 | 0.0061 | 0.1004 | 24.70 | 22.20 | 0.107 | - 36.68 |
| - 3,5 | 0.0063 | 0.1084 | 23.90 | 21.80 | 0.180 | - 42.35 |
| - 5,5 | 0.00613 | 0.1102 | 22.5 | 20.50 | 0.296 | - 51.59 |

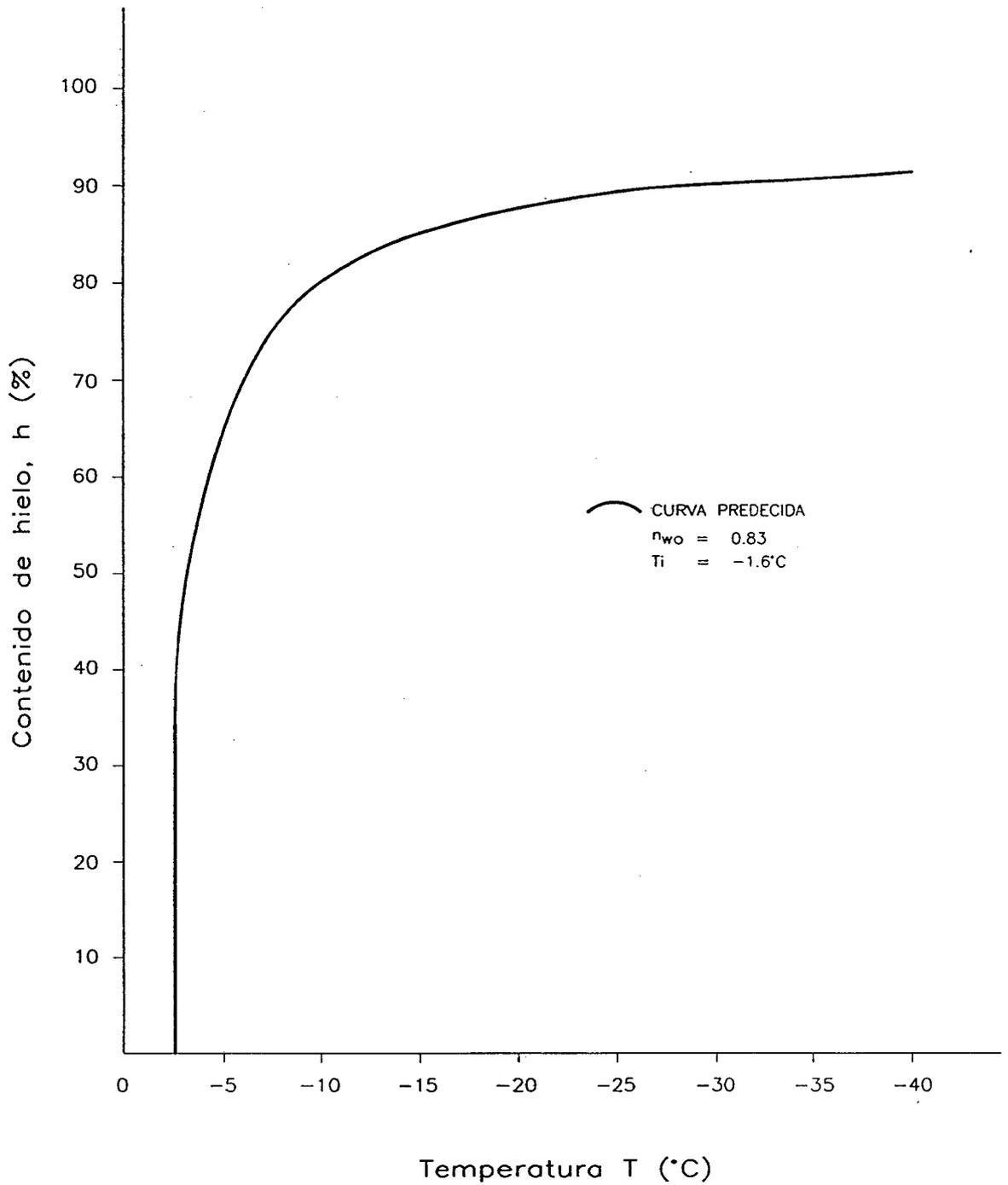


Fig. 9 Curva de contenido de hielo calculada en función de la temperatura para la Pomarrosa

CUADRO 16 :Determinación Calorimétrica de entalpía para el fruto de Pamarrosa.

| Muestra | Agua | Agua + Muestra | Termo | Pomarrosa | | |
|------------|------------|----------------|---------------|------------|--------------|-----------------|
| T° inicial | Peso | Peso | T° inicial | T° equili. | Calor ced. | Ent. Exp. |
| T (°C) | W_m (Kg) | W_w (Kg) | T_{wo} (°C) | T_e (°C) | q_c (Kcal) | H_T (Kcal/Kg) |
| - 2,7 | 0.007286 | 0.1080 | 24,5 | 22,8 | 0.172 | - 26,34 |
| - 3,5 | 0.007360 | 0.1084 | 23.20 | 21.60 | 0.248 | - 35.61 |
| - 5,5 | 0.007186 | 0.110 | 22.60 | 20.50 | 0.271 | - 46.91 |

CUADRO 17: Entalpía de Congelación Experimental y calculado para el fruto de Arazá.

| TEMPERATURA (°C) | ENTALPIA EXPERIMENT. H | ENTALPIA (Kcal / Kg) | |
|---------------------|------------------------------|----------------------|---------|
| | | CALCULADO | |
| | | a | b |
| | | SCHWARTZBERG | CHEN |
| 10 | -- | 8.72 | 8.72 |
| 5 | -- | 4.36 | 4.36 |
| 3 | -- | 2.62 | 2.62 |
| - 1.2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| - 2.7 | - 36.68 | - 35.91 | - 36.05 |
| - 3.5 | - 42.35 | - 42.73 | - 42.86 |
| - 5.5 | - 51.59 | - 51.60 | - 51.64 |
| ERROR (EMR) | | 7.6 % | 5.4 % |

^a Parámetros utilizados : $n_{wo} = 0.84$; $T_i = - 1.2$ ° C ; $b = 0.29$; $cf = 0.4867$.

^b Parámetros utilizados ; $n_s = 0.16$; $T_i = - 1.2$ ° C ; $M_s = 310$

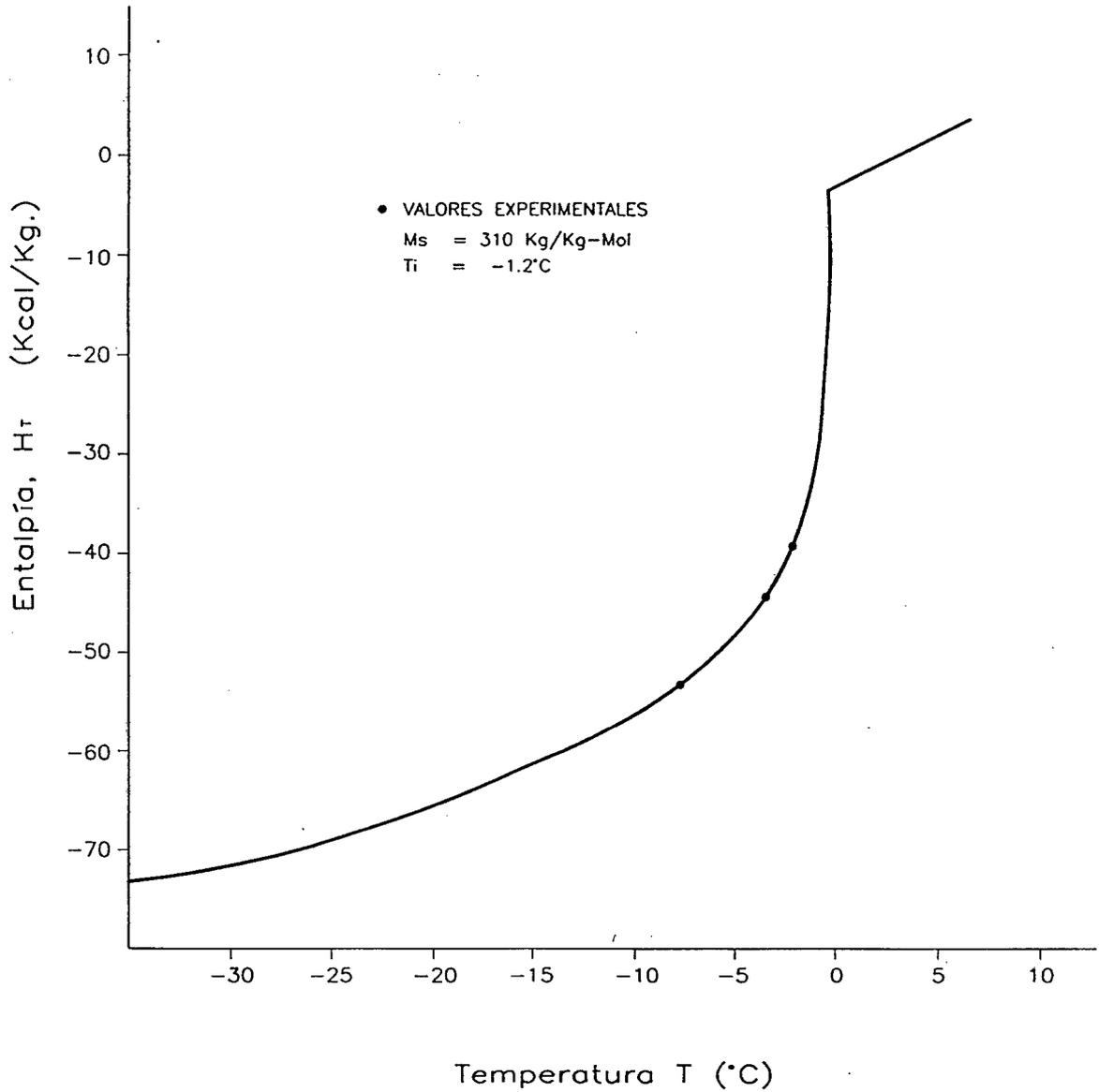


Fig. 10: Comparación de valores experimentales de Entalpía con teóricos obtenidos mediante la ecuación de Schwartzberg para el fruto de Arazá.

CUADRO 18: Entalpía de Congelación experimental y calculado para el fruto de Pomarrosa.

| TEMPERATURA (°C) | ENTALPÍA EXPERIMENT. H | ENTALPÍA (Kcal / Kg) | |
|---------------------|------------------------------|----------------------|---------|
| | | CALCULADO | |
| | | a | b |
| | | SCHWARTZBERG | CHEN |
| 10 | -- | 8.64 | 8.64 |
| 5 | -- | 4.32 | 4.32 |
| 3 | -- | 2.59 | 2.59 |
| - 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| - 2.7 | - 26.34 | - 26.27 | - 26.42 |
| - 3.5 | - 35.64 | - 35.22 | - 35.39 |
| - 5.5 | - 46.94 | - 46.69 | - 46.82 |
| ERROR (EMR) | | 5.15 % | 1.45 % |

^a Parámetros utilizados: $n_{wo} = 0.83$; $T_i = - 1.6$ °C ; $b = 0.225$; $cf = 0.4853$.

^b Parámetros utilizados: $n_s = 0.17$; $T_i = - 1.6$ °C ; $M_s = 247.185$.

El EMR para el fruto de Pomarrosa es menor que para el fruto de Arazá, confirmándose una mejor correlación entre sus resultados, estos valores porcentuales son mayores (5.15 %) que los reportados por CORONADO (1992), para el músculo de camarón fresco, por ALVA (1990) (1.36 %), para el caso de caracol crudo y similar en comparación con la pulpa de Lúcumá reportado por GONZALES (1991) (6%) esto debido fundamentalmente a la composición proximal de los alimentos en mención y también al equipo utilizado (Termo), que no se comporta como un sistema adiabático con las condiciones de trabajo muy limitadas, obteniéndose resultados cercanos con la ecuación de CHEN (1985), para ambos frutos.

Los valores de EMR para la entalpía encontrados son elevados (5.15 %) en comparación con los reportados por CORONADO (1992), para músculo de camarón fresco (1.36 %), ésto debido a la mayor cantidad de agua que presentan las frutas, lo cual lo confirma RIEDEL (1956) en trabajos realizados en carnes y frutas, citado por ALVA (1990) y GONZALES (1991).

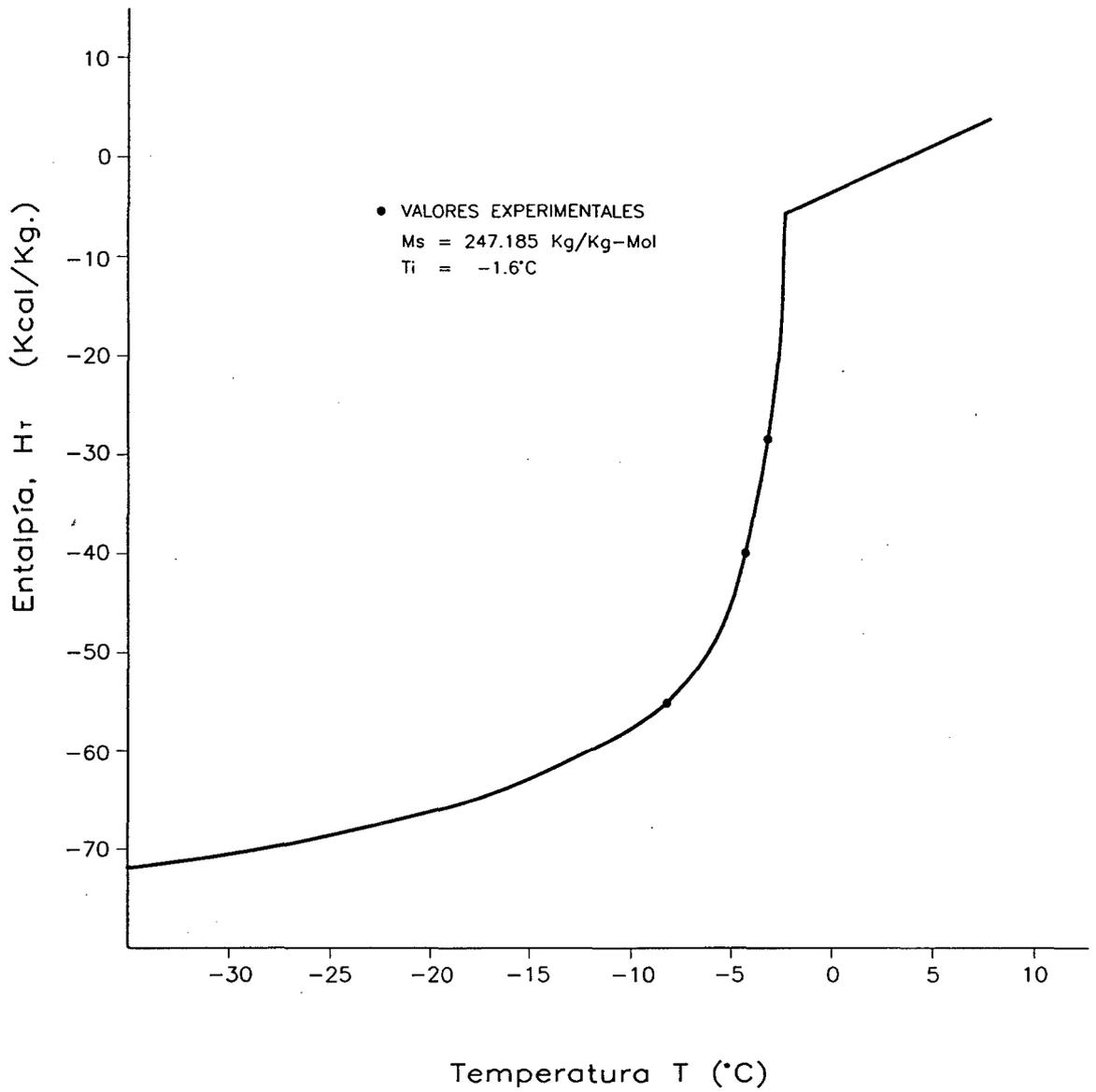


Fig. 11: Comparación de valores experimentales de Entalpía con teóricos obtenidos mediante la ecuación de Chen, para el fruto de Pomarrosa.

4.7. CALOR ESPECIFICO APARENTE

Los valores calculados del calor específico aparente tanto del fruto de Arazá como de la Pomarrosa (Cuadros 19 y 20), presentan diferencias significativas debido a que los puntos iniciales de congelación difieren entre sí : Pomarrosa (-1.6°C) y Arazá (-1.2°C) ; pero no se presenta diferencias significativas entre los valores obtenidos por las ecuaciones de SCHWARTZBERG (1981) y CHEN (1985).

La Figura 12 , nos presenta el comportamiento de esta propiedad termofísica , ya que cercano al punto inicial de congelación el valor es el más alto, para luego ir descendiendo conforme la temperatura disminuye dentro de la zona de subcongelación, siendo una curva típica de los productos alimenticios con un comportamiento heterogéneo (presencia de varios componentes)

CUADRO 19 : Calor específico aparente (Kcal/Kg°C) para el fruto de Pomarrosa.

| Temperatura | Calor específico aparente (Kcal /Kg °C) | |
|-------------|---|-------------------|
| | SCHWARTZBERG ^a | CHEN ^b |
| * 10.0 | 0.864 | 0.864 |
| * 5.0 | 0.864 | 0.864 |
| * 0.0 | 0.864 | 0.864 |
| - 1,6 | 39.97 | 40.24 |
| - 3,0 | 11.71 | 11.74 |
| -5.0 | 4.52 | 4.49 |
| - 7.0 | 2.54 | 2.50 |
| - 9.0 | 1.69 | 1.68 |
| - 11.0 | 1.31 | 1.26 |
| - 13.3 | 1.083 | 1.02 |
| - 15.0 | 0.93 | 0.87 |
| - 20.0 | 0.73 | 0.67 |
| - 30.0 | 0.59 | 0.53 |
| - 40.0 | 0.54 | 0.48 |

^a Parámetros Utilizados : $n_{wo} = 0.83$; $T_i = -1.6$ °C ; $b = 0.225$; $cf = 0.4853$

^b Parámetros Utilizados : $n_s = 0.17$; $M_s = 247.18$

* $C_{p_a} = p/100 + 0.2 (100 - p) / 100$.

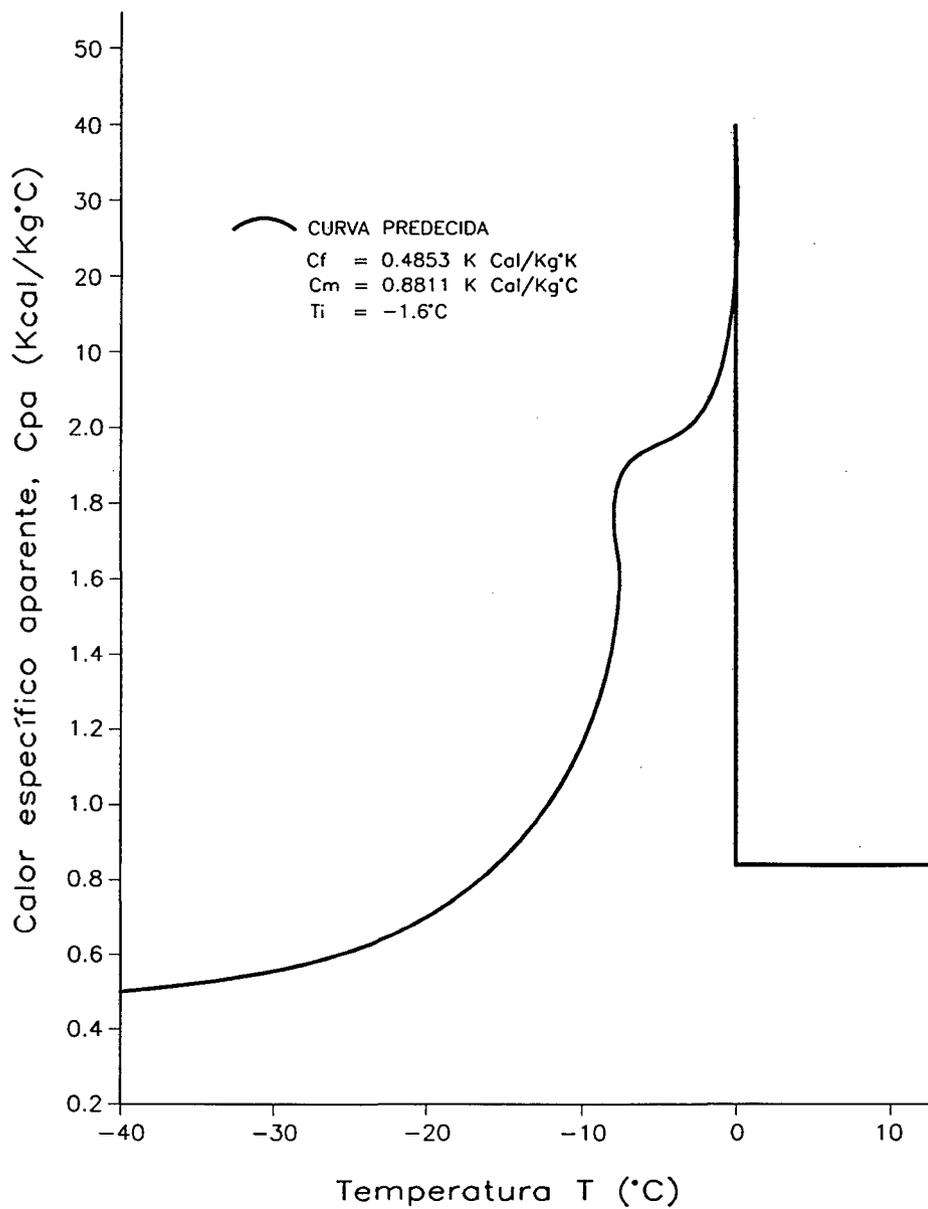


Fig. 12 Curva de calor específico aparente para el fruto de Pomarrosa. Según fórmula de SCHWARTZBERG (1981)

CUADRO 20: Calor específico aparente (Kcal/Kg °C) para el fruto de Arazá.

| Temperatura | Calor específico aparente (Kcal /Kg °C) | |
|-------------|---|-------------------|
| | SCHWARTZBERG ^a | CHEN ^b |
| 10.0 | 0.872 | 0.872 |
| 5.0 | 0.872 | 0.872 |
| 0.0 | 0.872 | 0.872 |
| - 1.6 | 53.25 | 53.55 |
| - 3.0 | 8.92 | 8.92 |
| - 5.0 | 3.52 | 3.48 |
| - 7.0 | 2.03 | 1.98 |
| - 9.0 | 1.42 | 1.36 |
| - 11.0 | 1.11 | 1.05 |
| - 13.0 | 0.93 | 0.87 |
| - 15.0 | 0.82 | 0.76 |
| - 20.0 | 0.67 | 0.61 |
| - 30.0 | 0.56 | 0.50 |
| - 40.0 | 0.53 | 0.47 |

^a parámetros utilizados : $n_{wo} = 0.84$; $T_i = -1.2$ °C; $b = 0.29$; $cf = 0.4867$.

^b parámetros utilizados : $ns = 0.16$; $Ms = 310$

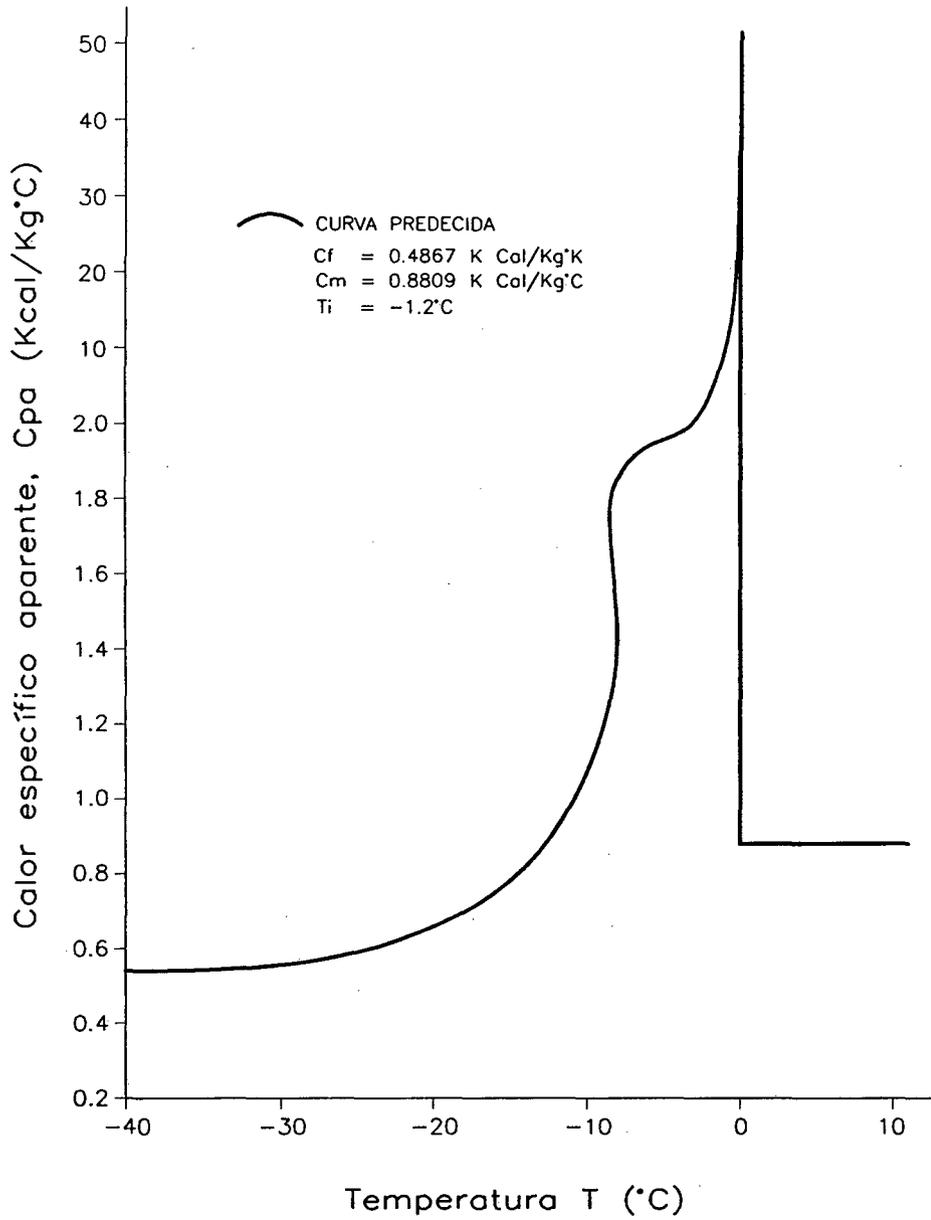


Fig. 13 Curva de calor específico aparente para el fruto de Arazá. Obtenida mediante la ecuación de SCHWARTZBERG (1981)

V. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones a la que se llegó en el presente trabajo son las siguientes:

- 1.- El punto de congelación del fruto de Arazá es de -1.2°C para un contenido de humedad de 84% y para el fruto de Pomarrosa de -1.6°C para un contenido de humedad 83%
- 2.- El valor obtenido de la entalpía total de congelación fluctúa entre -36.68 y -51.59 Kcal / Kg. para el fruto de Arazá y de -26.34 a -46.94 Kcal/Kg. para el fruto de Pomarrosa para un rango de temperatura hasta de -5.5°C
- 3.- El peso molecular efectivo tiene valor de 310 Kg./Kg.-mol para el fruto de Arazá y de 247.18 Kg/Kg-mol para el fruto de Pomarrosa.
- 4.- Los porcentajes de hielo encontrados para el fruto de Arazá tomados a -40°C son de 91.64%, 92.27% y para el fruto de Pomarrosa de 91.58% y 92.12% calculados con las ecuaciones de SCHWARTZBERG y CHEN respectivamente con velocidades de formación de hielo de 0.0005 y 0.0008 Kg/Kg $^{\circ}\text{C}$, respectivamente; y los calores específicos aparentes de 0.53 y 0.47 Kcal/ Kg $^{\circ}\text{C}$ y 0.54 y 0.48 Kcal/Kg $^{\circ}\text{C}$ respectivamente para ambas ecuaciones
- 5.- Los valores obtenidos del punto de congelación tanto del fruto de Arazá como de Pomarrosa presentan buena correlación con el contenido de sólidos de cada fruto utilizando la ecuación propuesta por SCHWARTZBERG y CHEN, o para lo cual se utilizaron los parámetros de ajuste para el fruto de Arazá: $b=0.29$; $E=0.05804$ y para el fruto de Pomarrosa : $b=0.225$; $E=0.07282$
- 6.- Las ecuaciones tanto de SCHWRTZBERG Y CHEN correlacionan bien los datos experimentales de entalpía de congelación con valores de EMR comprendidos entre 7.6 y 5.4% para el fruto de Arazá y de 5.15 y 1.45% para el fruto de Pomarrosa
- 7.- Utilizando un termo comercial y una solución de salmuera saturada se pueden obtener resultados experimentales confiables para la entalpía de congelación.

VI. RECOMENDACIONES

- 1.- Determinar parámetros termodinámicos de congelación para los frutos de Arazá y Pomarrosa que hayan sufrido pre tratamientos de despulpado y concentrado.
- 2.- Realizar trabajos similares con otras especies de frutas tropicales nativas.
- 3.- Aplicar los resultados obtenidos en el diseño de equipos de conservación por frío
- 4.- Aplicar modelos matemáticos por computadora en la obtención parámetros y propiedades termofísicas en frutas tropicales.
- 5.- Desarrollar un software de cálculo de las propiedades termofísicas y obtención de las gráficas respectivas.

VII. ANEXOS

ANEXO 1 : CALIBRACION DEL TERMO COMERCIAL

En la determinación calorimétrica de cualquier material, se presentan dos tipos de errores de medición: la pérdida de calor debido a una diferencia de temperatura entre el interior y el exterior y el movimiento debido al agitador, aislamiento de paredes, entre otros que cede energía cuando se produce una variación interna de temperatura. la calibración del termo, se busca considerar ambos tipos de error para realizar la corrección.

Se usaron cubos de hielo los cuales fueron previamente estabilizado con agua a fin de mantener temperaturas de 0°C. El hielo era secado con papel secante y luego sumergido dentro del termo previamente pesado, el cual contenía cerca de 110 g de agua a temperatura ambiente. Esta mezcla era nuevamente pesada con la finalidad de obtener el peso del hielo adicional, de acuerdo a la cantidad de hielo utilizado se obtenían diferentes temperaturas finales que era registradas cuidadosamente. Este método se utiliza con la finalidad de poder determinar si fuera necesario calor parasitario del termo utilizado. El calor perdido fue calculado por la siguiente ecuación:

$$W_h (\lambda_f + C_{PW} T_e) = W_{w_0} C_{PW} (T_{w_0} - T_e) + q_c \quad \dots \quad (\alpha).$$

Existe el método de calorimetría por campo de barrido para determinar propiedades termofísicas en forma rápida mediante una impresora.

La ecuación (α) representa el balance calórico del sistema agua-hielo en esta ecuación q_c es el calor perdido (Kcal); W_{w_0} la masa inicial de agua (Kg); λ_f el calor latente de fusión del agua (79.8 Kcal/Kg), C_{PW} el calor específico del agua al inicio de la prueba (°C) y T_e temperatura de equilibrio final (°C).

ANEXO 2: CALCULOS DE PARAMETROS TERMODINAMICOS PARA LOS
FRUTOS DE ARAZA Y POMARROSA

ARAZA:

a.- Contenido de agua ligada.

$$\overline{\Delta H} = \Delta H_o - 0.5 (C_{PW} \cdot C_{Ph}) (T_o - T) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\ln A_w = \frac{18 \overline{\Delta H} (T - T_o)}{RT T_o} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$b = \frac{N_1 A_{w2} - N_2 A_{w1} + A_{w1} A_{w2} (N_2 - N_1)}{A_{w2} - A_{w1}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

Datos:

Características del alimento.

$$(n_{wo})_1 = 0.84 \text{ Kg. agua/Kg. alimento}$$

$$(n_s)_1 = 0.16 \text{ Kg. sólido/Kg. alimento}$$

$$(T_1)_1 = -1.2^\circ\text{C} = 271.95^\circ\text{K}$$

$$(n_{wo})_2 = 0.7496 \text{ Kg. agua / Kg. alimento}$$

$$(n_s)_2 = 0.2504 \text{ Kg. sólido/ Kg. alimento}$$

$$(T_1)_2 = -2.2^\circ\text{C} = 270.95^\circ\text{K}$$

Constantes

$$\Delta H_o = 79.8 \text{ Kcal/kg}$$

$$c_p = 1 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

$$T_o = 273.15^\circ\text{K}$$

$$C_{ph} = 0.5 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

$$R = 1.987 \text{ Kcal/kg-mol}^\circ\text{K}$$

$$M_w = 18 \text{ Kg/kg-mol}$$

$$\text{Para } T = (T_1)_1$$

$$\overline{\Delta H} = 79.8 - 0.5(1-0.5) (273.15-271.95)$$

$$\overline{\Delta H} = 79.50 \text{ Kcal/ Kg}$$

$$\ln A_{w1} = \frac{18 \cdot 79.50 (271.95 - 273.15)}{1.987 \cdot 273.15 \cdot 271.95} = -0.0116340$$

$$A_{w1} = 0.988433$$

$$N_1 = 0.84 / 0.16 = 5.250$$

Para $T(T_1)_2$

$$\overline{\Delta H} = 79.8 - 0.5 (1-0.5) (273.15 - 270.95)$$

$$\overline{\Delta H} = 79.25$$

$$\ln A_{w2} = \frac{18 * 79.25 (270.95 - 273.15)}{1.987 * 273.15 * 270.95}$$

$$A_{w2} = 0.97888$$

$$N_2 = \frac{0.7496}{0.2504} = 2.9936$$

$$b = \frac{(5.25 * 0.97888 - 2.9936 * 0.988433) + 0.988843 * 0.97888 (2.9936 - 5.25)}{0.97888 - 0.98843}$$

$$b = \frac{(5.13912 - 2.95897) + 0.96755 (-2.2564)}{-0.00955}$$

$$b = \frac{2.1803 + (-2.1831798)}{-0.00955}$$

$$b = 0.29.$$

b.- Relación del Peso Molecular del agua entre el Peso Molecular efectivo de los sólidos

$$E = 18 / M_s$$

$$E = (N - b) (1 - A_w) / A_w \dots\dots\dots (22)$$

Datos:

Para condiciones iniciales del alimento (Arazá)

$$N = 5.250$$

$$b = 0.29$$

$$A_w = 0.988433$$

Reemplazando en la Ecuación (22)

$$E = (5.25 - 0.29)(1 - 0.988433) / 0.988433$$

$$E = 0.05804$$

c.- Peso Molecular efectivo de los sólidos "Ms"

Ecuación de SCHWARTZBERG; (1981)

$$M_s = 18/0.05804$$

$$M_s = 310 \text{ kg/kg-mol.}$$

d. Contenido de hielo

Ecuación de SCHWARTZBERG; (1981)

$$N_h = (n_{w_0} - b n_s) \frac{T_i - T}{T_0 - T} \dots\dots\dots (13)$$

Datos:

$$n_{w_0} = 0.84 \text{ Kg/Kg. alimento}$$

$$n_s = 0.16 \text{ Kg/Kg. alimento}$$

$$b = 0.29 \text{ Kg/Kg. sólido.}$$

$$T_i = - 1.2^\circ\text{C} = 271.95 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_0 = 273.15^\circ$$

$$T = - 2.5^\circ \text{ C} = 270.65 \text{ }^\circ\text{K}$$

Reemplazando valores en la ecuación (13)

$$N_h = (0.84 - 0.29*0.16) \frac{(271.95 - 270.65)}{273.15 - 270.65}$$

$$n_h = 0.412 \text{ Kg./Kg. alimento}$$

Expresando como porcentaje del contenido inicial de humedad :

$$h = \frac{100 n_h}{n_{w_0}} \dots\dots\dots (16)$$

$$\% h = \frac{100 * 0.412}{0.84} = 49.12\%$$

Fórmula de CHEN :

$$n_h = \frac{n_s}{M_s} \frac{RT_0^2}{\Delta H_0} (t_i - t) \dots\dots\dots (14)$$

Datos :

$$M_s = 310 \text{ Kg./Kg. - mol}$$

$$t_i = (t_i - t_0) = (271.95 - 273.15) \text{ }^\circ\text{K} = - 1.2^\circ\text{C}$$

$$t = (t - t_c) = (270.65 - 273.15) ^\circ\text{K} = -2.5 ^\circ\text{C}$$

$$n_h = \frac{0.16}{310} - \frac{1.987 \cdot 273.15^2}{79.8} \frac{(-1.2 + 2.5)}{-2.5 \cdot -1.2}$$

$$n_h = 0.415 \text{ Kg/Kg. alimento.}$$

Expresado como % del contenido inicial de humedad.

$$\%h = \frac{100 \cdot 0.415}{0.84} = 49.46\%$$

e. Entalpia Experimental

Fórmula:

$$H_T = \frac{-[W_w C_w (T_{w0} - T_e) - W_m C_m (T_e - T_i) + q_c]}{W_m} \quad (39)$$

Según datos del Cuadro 15

$$\begin{aligned} W_w &= 0.1004 \text{ Kg} & T_{w0} &= 24.70 ^\circ\text{C} \\ W_m &= 0.0061 \text{ Kg} & T_e &= 22.20 ^\circ\text{C} \\ C_w &= 1 \text{ Kcal / Kg } ^\circ\text{C} & T_i &= -1.2 ^\circ\text{C} \\ q_c &= 0.107 \text{ Kcal} & C_m &= ? \end{aligned}$$

$$C_m = C_s n_s + C_w n_{w0} \quad (40)$$

Para el cálculo de $C_s n_s$ fue empleado las fracciones de masa de los componentes de la fracción sólida del Arazá (Cuadro 7) y sus respectivos valores específicos.

Los cálculos fueron:

$$\begin{aligned} \text{Proteína} & \dots\dots\dots 0.0059 \cdot 0.36 = 0.00214 \\ \text{Grasa} & \dots\dots\dots 0.0158 \cdot 0.42 = 0.00664 \\ \text{Ceniza} & \dots\dots\dots 0.0078 \cdot 0.42 = 0.00327 \\ \text{Carbohidrato} & \dots\dots\dots 0.0926 \cdot 0.34 = 0.03142 \end{aligned}$$

$$C_s n_s = 0.0435 \text{ Kcal / Kg. alimento } ^\circ\text{C}$$

Remplazando valores en la ecuación (40)

Tenemos:

$$C_m = 0.0435 + 1 \cdot 0.84$$

$$C_m = 0.8835 \text{ Kcal / Kg. alimento } ^\circ\text{C}$$

Para $T = -3.5 ^\circ\text{C}$ de la muestra

$$H_T (-3.5 ^\circ\text{C}) = -42.35 \text{ Kcal / Kg.}$$

Calculada

Fórmula : SCHWARTZBERG;

$$H = \frac{(T - T_i) [C_f + (n_{wo} - bn_s) \Delta H_o]}{(T_o - T_i)} \dots\dots\dots (35)$$

Datos :

| | |
|---|---|
| $n_{wo} = 0.84 \text{ Kg/Kg. alimento}$ | $T = -3.5 \text{ }^\circ\text{C} = 269.65 \text{ }^\circ\text{K}$ |
| $n_s = 0.16 \text{ Kg/Kg. alimento}$ | $T_i = -1.2 \text{ }^\circ\text{C} = 271.95 \text{ }^\circ\text{K}$ |
| $C_w = 1 \text{ Kcal/Kg. }^\circ\text{C}$ | $T_o = 273.15 \text{ }^\circ\text{K}$ |
| $C_h = 0.5 \text{ Kcal/Kg. }^\circ\text{C}$ | $\Delta H_o = 79.8 \text{ Kcal/Kg.}$ |
| $b = 0.29 \text{ Kg/Kg. soluto}$ | $C_f = ?$ |

$$C_f = C_s n_s + (n_{wo} - bn_s) C_h + bn_s C_w \dots\dots\dots (29)$$

Reemplazando valores en la ecuación (29)

$$C_f = 0.04353 + (0.84 - 0.29 * 0.16) 0.5 + 0.29 * 0.16 * 1$$

$$C_f = 0.48673 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

Para $T = -3.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = \frac{(269.65 - 271.95) [0.48673 + (0.84 - 0.29 * 0.16) 79.8]}{273.15 - 269.65}$$

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = -42.73 \text{ Kcal/kg.}$$

Fórmula : CHEN ;

$$H = (t - t_i) \left(0.37 + 0.3 n_s + \frac{n_s}{M_s} \frac{RT_o^2}{t_i} \right) \dots\dots\dots (37)$$

Datos:

| |
|---|
| $M_s = 310 \text{ Kg/Kg-mol}$ |
| $t = (T - T_o) = (269.65 - 273.15) = -3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $t_i = (T_i - T_o) = (271.95 - 273.15) = -1.2 \text{ }^\circ\text{C}$ |

Reemplazando valores en la ecuación (37)

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = (-3.5 + 1.2) \left(0.37 + 0.3 * 0.16 + \frac{0.16 * 1.987 * 273.15^2}{310 * -3.5 * 1.2} \right)$$

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = -42.86 \text{ Kcal/kg.}$$

f. Calor específico aparente

Fórmula : SCHWARTZBERG ;

$$C_{pa} = C_f + \frac{(n_{wo} - bn_s) \Delta H_o (T_o - T_i)}{(T_o - T)^2} \dots\dots\dots (28)$$

Empleando los datos para el cálculo de entalpía:

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 0.48673 + \frac{(0.84 - 0.29 * 0.16) 79.8 (273.15 - 271.95)}{(273.15 - 269.65)^2}$$

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 6.69 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

Fórmula : CHEN ;

$$C_{pa} = 0.37 + 0.3 \frac{n_s}{M_s} + n_s \frac{RT_o^2}{t^2} \dots\dots\dots (30)$$

Reemplazando los datos se tiene :

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 0.37 + 0.3 \frac{(0.16)}{310} + 0.16 \frac{1.987 * (273.15)^2}{(-3.5)^2}$$

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 6.66 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

POMARROSA:**a.- Contenido de agua ligada.**

$$\overline{\Delta H} = \Delta H_o - 0.5 (C_{PW} - C_{Ph}) (T_o - T) \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$\ln A_w = \frac{18 \overline{\Delta H} (T - T_o)}{RT T_o} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$b = \frac{N_1 A_{w2} - N_2 A_{w1} + A_{w1} A_{w2} (N_2 - N_1)}{A_{w2} - A_{w1}} \quad \dots\dots\dots (23)$$

Datos:Características del alimento.

$$(n_{wo})_1 = 0.83 \text{ Kg. agua/Kg. alimento}$$

$$(n_s)_1 = 0.17 \text{ Kg. sólido/Kg. alimento}$$

$$(T_i)_1 = -1.6^\circ\text{C} = 271.55^\circ\text{K}$$

$$(n_{wo})_2 = 0.7612 \text{ Kg. agua / Kg. alimento}$$

$$(n_s)_2 = 0.2388 \text{ Kg. sólido/ Kg. alimento}$$

$$(T_i)_2 = -2.5^\circ\text{C} = 270.65^\circ\text{K}$$

Constantes

$$\Delta H_o = 79.8 \text{ Kcal/kg}$$

$$c_p = 1 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

$$T_o = 273.15^\circ\text{K}$$

$$C_{ph} = 0.5 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

$$R = 1.987 \text{ Kcal/kg-mol}^\circ\text{K}$$

$$M_w = 18 \text{ Kg/kg-mol}$$

$$\text{Para } T = (T_i)_1$$

$$\overline{\Delta H} = 79.8 - 0.5(1-0.5) (273.15-271.55)$$

$$\overline{\Delta H} = 79.40 \text{ Kcal/ Kg}$$

$$\ln A_{w1} = \frac{18 * 79.40 (271.55 - 273.15)}{1.987 * 273.15 * 271.55} = - 0.015515$$

$$A_{w1} = 0.98460$$

$$N_1 = 0.83 / 0.17 = 4.882$$

$$\text{Para } T(T_i)_2$$

$$\overline{\Delta H} = 79.8 - 0.5 (1-0.5) (273.15 - 270.65)$$

$$\overline{\Delta H} = 79.175$$

$$\ln A_{w2} = \frac{18 * 79.175 (270.65 - 273.15)}{1.987 * 273.15 * 270.65}$$

$$A_{w2} = 0.976037$$

$$N_2 = \frac{0.7612}{0.2388} = 3.1876$$

$$b = \frac{(4.882 * 0.9760 - 3.1876 * 0.98460) + 0.98460 * 0.9760 (3.1876 - 4.88235)}{0.9760 - 0.98046}$$

$$b = \frac{1.62666 + 0.960969 (-1.96755)}{-0.00955}$$

$$b = \frac{2.1803 + (-2.1831798)}{-0.00955}$$

$$b = 0.225.$$

b.- Relación del Peso Molecular del agua entre el Peso Molecular efectivo de los sólidos

$$E = 18/M_s$$

$$E = (N - b) (1 - A_w) / A_w \dots\dots\dots (22)$$

Datos:

Para condiciones iniciales del alimento (Arazá)

$$N = 4.882$$

$$b = 0.225$$

$$A_w = 0.98460$$

Reemplazando en la Ecuación (22)

$$E = (4.882 - 0.225)(1 - 0.98460) / 0.98460$$

$$E = 0.07283$$

c.- Peso Molecular efectivo de los sólidos "Ms"

Ecuación de SCHWARTZBERG; (1981)

$$M_s = 18 / 0.07283$$

$$M_s = 247.18 \text{ kg/kg-mol.}$$

e. Contenido de hielo

Ecuación de SCHWARTZBERG; (1981)

$$N_h = (n_{w0} - bn_s) \frac{T_i - T}{T_0 - T} \quad (13)$$

Datos:

$$n_{w0} = 0.83 \text{ Kg/Kg. alimento}$$

$$n_s = 0.17 \text{ Kg/Kg. alimento}$$

$$b = 0.225 \text{ Kg/Kg. sólido.}$$

$$T_i = -1.6^\circ\text{C} = 271.55 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T_0 = 273.15 \text{ }^\circ\text{K}$$

$$T = -2.5^\circ\text{C} = 270.65 \text{ }^\circ\text{K}$$

Reemplazando valores en la ecuación (13)

$$N_h = (0.83 - 0.225 \cdot 0.17) \frac{(271.55 - 270.65)}{273.15 - 270.65}$$

$$n_h = 0.285 \text{ Kg./Kg. alimento}$$

Expresando como porcentaje del contenido inicial de humedad :

$$h = \frac{100 n_h}{n_{w0}} \quad (16)$$

$$\% h = \frac{100 \cdot 0.285}{0.83} = 34.34 \%$$

Fórmula de CHEN :

$$n_h = \frac{n_s}{M_s} \frac{RT_0^2}{\Delta H_0} (t_1 - t) \quad (14)$$

Datos :

$$M_s = 247.18 \text{ Kg./Kg. - mol}$$

$$t_1 = (t_1 - t_0) = (271.55 - 273.15) \text{ }^\circ\text{K} = -1.6^\circ\text{C}$$

$$t = (t - t_0) = (270.65 - 273.15) \text{ }^\circ\text{K} = -2.5^\circ\text{C}$$

$$n_h = \frac{0.17}{247.18} \frac{1.987 \cdot 273.15^2}{79.8} (-1.6 + 2.5) - 2.5 \cdot -1.6$$

$n_h = 0.2854$ Kg/Kg. alimento.

Expresado como % del contenido inicial de humedad.

$$\%h = \frac{100 \cdot 0.2874}{0.83} = 34.34 \%$$

e. Entalpia Experimental

Fórmula :

$$H_T = \frac{- [W_w C_w (T_{w0} - T_e) - W_m C_m (T_e - T_i) + q_c]}{W_m} \quad (39)$$

Según datos del Cuadro 16

$$\begin{aligned} W_w &= 0.1080 \text{ Kg.} & T_{w0} &= 24.50 \text{ }^\circ\text{C} \\ W_m &= 0.007286 \text{ Kg.} & T_e &= 22.80 \text{ }^\circ\text{C} \\ C_w &= 1 \text{ Kcal / Kg }^\circ\text{C} & T_i &= -1.6 \text{ }^\circ\text{C} \\ q_c &= 0.172 \text{ Kcal.} & C_m &= ? \end{aligned}$$

$$C_m = C_s n_s + C_w n_{w0} \quad (40)$$

Para el cálculo de $C_s n_s$ fue empleado las fracciones de masa de los componentes de la fracción sólida del Arazá (Cuadro 7) y sus respectivos calores específicos.

Los cálculos fueron:

$$\begin{aligned} \text{Proteína} & \dots\dots\dots 0.0098 \cdot 0.36 = 0.00352 \\ \text{Grasa} & \dots\dots\dots 0.0090 \cdot 0.42 = 0.00378 \\ \text{Cenizas} & \dots\dots\dots 0.0075 \cdot 0.42 = 0.00315 \\ \text{Carbohidrato} & \dots\dots\dots 0.1190 \cdot 0.34 = 0.04046 \end{aligned}$$

$$C_s n_s = 0.0509 \text{ Kcal / Kg. alimento }^\circ\text{C}$$

Remplazando valores en la ecuación (40)

Tenemos :

$$C_m = 0.0435 + 1 \cdot 0.83$$

$$C_m = 0.8809 \text{ Kcal / Kg. alimento }^\circ\text{C}$$

Para $T = -3.5$ °C de la muestra

$$H_T (-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = -35.61 \text{ Kcal / Kg.}$$

Calculada

Fórmula : SCHWARTZBERG;

$$H = \frac{(T - T_i) [C_f + (n_{wo} - bn_s) \Delta H_o]}{(T_o - T_i)} \dots\dots\dots (35)$$

Datos :

| | |
|---|---|
| $n_{wo} = 0.83 \text{ Kg/Kg. alimento}$ | $T = -3.5 \text{ }^\circ\text{C} = 269.65 \text{ }^\circ\text{K}$ |
| $n_s = 0.17 \text{ Kg/Kg. alimento}$ | $T_i = -1.6 \text{ }^\circ\text{C} = 271.55 \text{ }^\circ\text{K}$ |
| $C_w = 1 \text{ Kcal/Kg. }^\circ\text{C}$ | $T_o = 273.15 \text{ }^\circ\text{K}$ |
| $C_h = 0.5 \text{ Kcal/Kg. }^\circ\text{C}$ | $\Delta H_o = 79.8 \text{ Kcal/Kg.}$ |
| $b = 0.225 \text{ Kg/Kg. soluto}$ | $C_f = ?$ |

$$C_f = C_s n_s + (n_{wo} - bn_s) C_h + bn_s C_w \dots\dots\dots (29)$$

Reemplazando valores en la ecuación (29)

$$C_f = 0.0509 + (0.83 - 0.225 * 0.17) 0.5 + 0.225 * 0.17 * 1$$

$$C_f = 0.4853 \text{ Kcal/Kg }^\circ\text{C}$$

Para $T = -3.5 \text{ }^\circ\text{C}$

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = (269.65 - 271.55) [0.4853 + (0.83 - 0.225 * 0.17) \frac{79.8}{273.15 - 269.65}]$$

$$H(-3.5^\circ) = -35.22 \text{ Kcal/kg.}$$

Fórmula : CHEN ;

$$H = (t - t_i) \left(0.37 + 0.3 \frac{n_f}{M_s} + \frac{n_f}{M_s} \frac{RT_o^2}{tt_i} \right) \dots\dots\dots (37)$$

Datos:

| |
|---|
| $M_s = 247.18 \text{ Kg/Kg-mol}$ |
| $t = (T - T_o) = (269.65 - 273.15) = -3.5 \text{ }^\circ\text{C}$ |
| $t_i = (T_i - T_o) = (271.55 - 273.15) = -1.6 \text{ }^\circ\text{C}$ |

Reemplazando valores en la ecuación (37)

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = (-3.5 + 1.6) \left(0.37 + 0.3 * \frac{0.17}{247.18} + \frac{0.17 * 1.987 * 273.15^2}{247.18 * (-3.5 * 1.6)} \right)$$

$$H(-3.5 \text{ }^\circ\text{C}) = -35.39 \text{ Kcal/kg.}$$

f. Calor específico aparente

Formula : SCHWARTZBERG ;

$$C_{pa} = C_f + (n_{wv} - bn_f) \frac{\Delta H_o (T_o - T_i)}{(T_o - T)^2} \dots\dots\dots (28)$$

Empleando los datos para el cálculo de entalpía:

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 0.4853 + (0.83 - 0.225 * 0.17) \frac{79.8 (273.15 - 271.95)}{(273.15 - 269.65)^2}$$

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 8.7372 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

Fórmula : CHEN ;

$$C_{pa} = 0.37 + 0.3 \frac{n_s}{M_s} + n_s \frac{RT_o^2}{t^2} \dots\dots\dots (30)$$

Reemplazando los datos se tiene :

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 0.37 + 0.3 \frac{(0.17)}{247.18} + 0.17 \frac{1.987 *(273.15)^2}{(-3.5)^2}$$

$$C_{pa} (-3.5^\circ\text{C}) = 8.74 \text{ Kcal/kg}^\circ\text{K}$$

VIII. BIBLIOGRAFÍA.

- 1.-ALVA, M. 1990 Estudio de los Parámetros Termodinámicos de Congelación del Caracol (*Thais chocolata*) precocido. Tesis UNALM. Lima – Perú..
- 2.-A.O.A.C. 1989. Official Methods of Analysis Association of Official Agriculture Chemist; 11^{AVA} Edición
- 3.- CALZADA BENZA J. 1980 . 143 Frutales Nativos Lima. Universidad Agraria la Molina.Lima-Perú.
- 4.- CORONADO , F. 1992. Determinación de Parámetros Termodinámicos para la Congelación del Músculo de Camarón Gigante de Malasia (*Machrobrachium rosenbergii*). Tesis .UNSM-Tarapoto.
- 5.- CHEFTEL J.C. Y CHEFTEL H. 1976. Introducción a la Bioquímica y Tecnología de Alimentos. Vol. I Editorial Acribia Zaragoza. 17-22
- 6.- CHEN, C. 1985 a. Thermodynamic Analysis of the freezing and enthalpy and apparent specific heat. Thawing of foods : J Food Sci. 50 : 1158 – 1162.
- 7.- CHEN, C. 1985 b. Thermodynamic analysis of the freezing and trawing of foods: ice content and mollier diagram. J Food Sci. 50; 1163 – 1166
- 8.- CHIRIFE, R. 1966 Predicting requiriments for freezing ice cream. Mich. agric. Exp. Sta. Quart.Bull. 49: 144 – 154.
- 9.- DESROSIER, N . 1981.Conservación de los Alimentos 11^{va} edición, México, CECSA,
- 10.- DICKERSON, R .1968. Thermal propierties of foods in “The freezing Preservation of foods”. Vol II avi. Publishing co westport, C.T, 26 – 52
- 11.- DOMENECH, J. 1960. Conservación de Alimentos, Tomo II Pag. 5-92. España.
- 12.- DUKWORTH, N. 1969. Frutas y Verduras. Zaragoza, España, Editorial Acribia.
- 13.- EARLE, R. 1979. Ingeniería de los Alimentos. Zaragoza, España Edit. Acribia.
- 14.- FENNEMA, O. Y POWRIE, O. 1964, Fundamentals of low Temperatures food preservation. Adv. Food research 13: 219- 301.
- 15.- GUTTERSON, M. 1979. Fruit juice technology, noyes data corporation USA.
- 16.- GOMEZ, R. Y ALCALA, M. 1989. Correlación entre la actividad de agua y punto de congelación de frutas y vegetales.

- 17.- GONZALES, P. 1991. Determinación de propiedades termodinámicas de la pulpa de Lúcumá (*Lucuma abovata* H.B.K.), relacionadas con su congelación. Tesis de Ingeniero en Industrias Alimentarias. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- 18.- GRUDA, Z Y POSTOLSKI, J. 1986. Tecnología de la Congelación de los Alimentos. Edit. Acibia S.A., 631.
- 19.- HELDMAN, D. 1982 Food properties during freezing, Food techol. 36: 96- 96
- 20.- HERRMAN, K. 1977 . Alimentos congelados, tecnología y conservación . pag. 175 – 191 – España.
- 21.- HSIEH, L ; HELDMAN, D. 1977. Prediction of freezing times for foods as influenced by product properties. J. Food Process Engineering. Vol. I, 183.
- 22.- I.I.C.A. 1,989 Revista del Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica .
- 23.- KASAHARA A. 1986. Transferencia de calor y propiedades termofísicas aplicadas a la Congelación de productos vegetales. Universidad Católica de Valparaíso , Chile.
- 24.- KIECKBUSH, T. 1986. Laboratorio de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas Sao Paulo, Brasil. 26 pág.
- 25.- KLEEBERG, F. 1986 .Estudo comparativo dos parametros termodinamicos e da cinetica de congelamiento de file de pescado (*Cynoscion petranas*) cru e cozido. Teis. Universidade de Gradual de Campinas. Sao Paulo.
- 26.- MEDINA, M; SILVA, S; NEVES, L Y HUBINGER, M. 1998. Determinación de propiedades termofísicas de pulpa de piña y solución de sacarosa. Faculdade de Engenharia de Alimentos – Unicamp – Campinas – SP – Brasil.
- 27.- PINEDO, J. 1981. Notas Preliminares sobre el Arazá (*Eugenia stipitata*), frutal nativo de la Amazonia. Lima, IICA.
- 28.- POTTER, N. 1978. La Ciencia de los Alimentos. Editorial EDUTEX. México .
- 29.-RIEDEL, L. 1956 . Investigaciones Calorimétricas sobre la congelación de Pescado y carnes rojas . Kältetechnik, t. 45. Alemania.
- 30.- ROLFE E.J. 1968 The chilling and freezing of food stuffs. Biochemical and Biological Engineering Science. N. Blackebtough Academic Press inc. N.Y.
- 31.- SANTANDER W.E. 1986 Obtención de Pulpa de Arazá (*Eugenia stipitata*) su concentración al vacío y su aplicación como néctar.
- 32.- SCHWARTZBERG, H.G. 1976 Effective heat capacities for the freezing and thawing of food. J. Food Sci. 41: 152 – 156.

- 33.- SCHWARTZBERG, H.G. 1981. Mathematical analysis of the freezing and thawing of foods. Aiche. Summer meeting, August Detroit. USA.
- 34.- SUCCAR J, 1985. Estimation of thermophysical properties of food at freezing temperatures. Beatrice Hunt - wesson foods. Research and Development Center. Fullerton, California USA.
- 35.- STANIER, M. & LITCHEFIELD, J. 1962. Food plant sanitation teinhold publishing corporation. New York. U.S.A.
- 36.- UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA , 1972. Cultivo del lúcumo. Informativo n° 5. Programa de Frutales Nativos.

